MARS BACTÉRIOPHAGE TAXI VOLANT CAMÉLÉON MÉGALITHE BOUSE DE VACHE
DIPHTÉRIE RUNNING DISSECTION ZIKA PROPRANOLOL URBANISME HOQUET

SCIENCE & VIE

SEPTEMBRE 2016 N°1188 MONDADORI FRANCE



VOLCANS D'AUVERGNE
ILS SONT TOUJOURS VIVANTS !

ARRÊT DES VACCINS
CE QUE L'ON RISQUE VRAIMENT

OBJECTIF ALPHA DU CENTAURE

TOUT EST PRÊT POUR LA PREMIÈRE EXPLORATION D'UN AUTRE SYSTÈME SOLAIRE !

D : 6,90 € - BEL : 4,80 € - ESP : 4,90 €
GR : 4,90 € - DOM S : 4,90 €
DOM A : 6,90 € - ITA : 4,90 € - LUX : 4,80 €
PORT CONT : 4,90 € - CAN : 6,75 $CAN
MAR : 50 DH - TOM S : 750 CFP
TOM A : 1 400 CFP - CH : 8,5 FS - TUN : 9 DTU



ÉCHEC SCOLAIRE **L'INJUSTICE FAITE AUX GARÇONS**

SCIENCE & VIE N°1188 - Septembre 2016 Echec scolaire Objectif Alpha du Centaure Pollution lumineuse Volcans d'Auvergne Microplastiques Vaccins Biocarburants SCIENCE & VIE

Nouvelle Renault **MEGANE** Estate



Élégance et modularité intuitive

Un design travaillé jusqu'aux moindres détails, combiné à une technologie issue du segment supérieur.
Nombreuses aides à la conduite, pour toujours plus de sécurité.
Écran multimédia R-LINK 2*, la véritable tour de contrôle de Nouvelle MEGANE.
Un coffre facilement configurable, avec une longueur de chargement record de 2,70 m.
Un choix parmi 5 modes de conduite grâce à Renault MULTI-SENSE*.

*De série ou en option selon version. **Consommations mixtes min/max (l/100 km) : 3,5/6. Émissions CO_2 min/max (g/km) : 90/134. Consommations et émissions homologuées selon réglementation applicable.**



POUR VOTRE SANTÉ, ÉVITEZ DE GRIGNOTER ENTRE LES REPAS.
www.mangerbouger.fr

Un super Wifi partout chez moi

Nouvelle Livebox avec Fibre 100% Fibre



Vous rapprocher de l'essentiel



nouvellelivebox.orange.fr

Offre soumise à conditions valable en France métropolitaine, sous réserve d'éligibilité. Super Wifi : avec équipement compatible Wifi ac pour bénéficier d'un débit amélioré. Conditions et tarifs sur orange.fr. Crédit photo transat : Getty Images.

Avant-propos

Vincent Nouyrigat
v.nouyrigat@mondadori.fr

Des éruptions dans le Massif central ?

Les vulcanologues ne vont pas en Auvergne ; ils se rendent à l'autre bout du monde, dans d'impressionnantes combinaisons ignifuges, au plus près de bombardements de scories et des torrents de lave rougeoyante. Ou alors bardent d'instruments les volcans et supervolcans les plus inquiétants pour mieux prévoir leurs explosions. Les vulcanologues dédaignent l'Auvergne, et ils ont tort ! Car le bon vieux Massif central est peut-être moins endormi qu'il n'y paraît.





Elsa Abdoun
e.abdoun@
mondadori.fr

Faiblesses du "sexe fort"

Le sujet est aussi sensible que la liste des injustices faites aux femmes est longue. Mais il ne peut être évité tant le constat des inégalités scolaires entre les sexes est sans appel : les filles ont beau être légèrement moins bonnes que les garçons en mathématiques, sur tous les autres indicateurs (décrochage, redoublement, réussite au bac…), elles réussissent leur scolarité bien mieux que les garçons. Après avoir interrogé les sciences sociales et la biologie, il apparaît clairement que la faute en revient, pour beaucoup, à l'éducation différenciée des filles et des garçons. Un système qui fait donc, finalement, des victimes chez les deux sexes.



Mathilde Fontez
m.fontez@mondadori.fr

Un autre système pour continuer à rêver

C'est quoi, aujourd'hui, notre nouveau rêve spatial ? Un demi-siècle après la conquête de la Lune, quelle est la nouvelle frontière qui permettrait à l'humanité de se dépasser ? Mars ? Evoqué depuis trente ans, le rêve semble déjà usé. Les astéroïdes ? L'ambition manque un peu de grandeur. Depuis quelque mois, une idée bien plus vertigineuse excite les spécialistes : la conquête d'un autre système stellaire. Le projet est sur la table, une partie de l'argent aussi. Quel plaisir de se projeter dans ce voyage intersidéral. D'entendre les astrophysiciens y croire… Oui, assurément, ce rêve pourrait être le nouvel Appolo du XXI[e] siècle…

DR

Sommaire

septembre 2016 n° 1188

SCIENCE & VIE 8, rue François-Ory 92543 Montrouge Cedex
Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67
E-mail : svmens@mondadori.fr
Recevez *Science & Vie* chez vous. **Votre bulletin d'abonnement se trouve p. 89.** Pour commander d'anciens numéros, rendez-vous sur www.kiosquemag.com. Vous pouvez aussi vous abonner par téléphone au 01 46 48 48 96, ou par Internet sur www.kiosquemag.com.

Un encart Boutique Science & Vie "Été" est jeté sur les exemplaires de toute la diffusion abonnés France métropolitaine. Un encart "Offre rentrée - 30 magazines à prix cassés" est jeté sur les exemplaires d'une partie de la diffusion abonnés France métropolitaine. Un catalogue Linvosges est jeté sur les exemplaires d'une partie de la diffusion abonnés France métropolitaine.

Forum

Merci d'adresser vos courriers à : sev.lecteurs@mondadori.fr

Et que faites-vous de ceux qui ne voient jamais rien venir ?

Abonné à votre journal depuis des décennies, je viens de lire votre article sur les idées conspirationnistes en une du dernier numéro ("Vous avez dit complot ?", *S&V* n°1187, août 2016). Je suis d'accord quand vous dites que le cerveau nous joue des tours et peut nous faire voir des conspirations partout, mais vous oubliez que le contraire est vrai aussi : beaucoup de gens n'arrivent pas à saisir que tous les hommes racontent une version des événements qui les arrange, et qu'ils cachent éventuellement quelque chose… Mais peut-être que mon cerveau ne fonctionne pas bien.

Salvator Dedaj, Villefontaine (38)


VOUS AVEZ DIT COMPLOT ?

S&V Votre cerveau phosphore très correctement, et vous avez raison de pointer l'existence de vrais mensonges et de vrais complots ; nous avons consacré un large encadré à ce sujet. Les psychologues sociaux s'intéressent d'ailleurs aux individus qui ont tendance à nier l'existence de tout complot. Mais ces naïfs patentés sont probablement rares : *"Les populations sont bien moins crédules que l'on ne pourrait le penser,* informe Hugo Mercier, du Centre de sciences cognitives de l'université de Neuchâtel (Suisse). *Diverses études montrent ainsi que les campagnes publicitaires ou la propagande politique ont très peu d'influence sur les comportements."* Toute la difficulté étant de trouver un juste milieu entre le doute permanent et la crédulité béate.

> " Dès le début de sa vie, l'enfant découvre l'existence du mensonge : papa et maman font des petits chantages, des promesses, racontent des petits bobards, font croire au père Noël... Bref, ils complotent ! "

***Jacques Ravenel**, Manosque (04)*


Essor du covoiturage
Son bilan écologique est très relatif

LE RAPPEL DES FAITS
EN CHIFFRES
2
260 000
70 %

Covoiturage : un impact écologique incertain

Je pense que les études sur l'impact écologique du covoiturage et surtout la comparaison directe avec les transports en commun sont peu efficientes car "covoiturant" et train font de toute façon le déplacement. Le calcul est certainement plus complexe : émissions supplémentaires de CO_2 du véhicule en fonction du poids, du modèle, de l'investissement, des économies réalisées, etc. C'est avant tout un transfert économique favorisant une modification du comportement social.

Patrice Chatenet, internet

Le nombre d'amis ne se mesure pas qu'au nombre d'appels !

Je vous écris au sujet du texte intitulé "C'est à 25 ans qu'on a le plus d'amis" (n°1187, p. 114). Ce lien établi avec le téléphone est déprimant… On a toujours autant d'amis après 25 ans. Il serait plus juste de dire que c'est à cet âge que l'on consacre le plus de temps aux échanges téléphoniques avec ses amis. Ensuite, la vie professionnelle et familiale fait que l'on est moins disponible pour cela. A la retraite, on retrouve cette disponibilité, même si l'on est moins branché…

Michèle Moreau, Oingt (69)

D'autres exclus du don du sang

Dans votre n°1180 de janvier 2016, p. 113, vous consacriez un article au "don du sang ouvert aux homosexuels sous conditions". Je tiens à vous faire remarquer que les ex-prisonniers sont de fait bannis du don du sang.

Lucky Lequertier, Caen (14)

S&V La loi n'exclut pas les ex-prisonniers du don du sang. Dans le questionnaire auquel est soumis chaque donneur, il n'y a pas de case qui cite nommément un passage en détention. En revanche, comme les données épidémiologiques le montrent, risques d'infections (VIH, hépatites) et usage de drogue sont plus fréquents dans les établissements pénitentiaires. Or, ces deux points sont, eux, des critères excluant du don. C'est pour cela que les ex-détenus peuvent plus rarement donner leur sang. A noter aussi que, depuis l'affaire du sang contaminé, aucune collecte de sang n'est organisée dans les prisons. D'ailleurs, sur ce point, le défenseur des droits a été saisi et la question est entre les mains du médiateur de l'Etablissement français du sang.

On en reparle



ESPÈCES INVASIVES : 37 ENNEMIS PUBLICS RECENSÉS EN EUROPE

L'alerte était donnée dans ces pages en 2011 : venue des quatre coins du monde, une armada d'espèces animales et végétales colonise nos territoires, à la faveur des transports de marchandises d'une économie mondialisée. Frelon asiatique, poisson lion, ambroisie… La menace est telle que la Commission européenne a publié, en juillet, la liste très officielle des 37 nuisibles que chaque pays membre devra désormais traquer, voire éradiquer. Ces invasions sont en effet délétères pour la biodiversité: elles en sont la troisième menace la plus grave, après la perte des habitats naturels et la surexploitation des ressources. Mais ce n'est pas tout. Ces animaux peuvent aussi abîmer les infrastructures – comme le ragondin d'Amérique du Sud (*Myocastor coypus*), véritable plaie pour les berges des voies navigables –, poser de graves problèmes pour l'agriculture, voire mettre en péril la santé humaine (allergies, nouvelles infections). Le coût total des dégâts provoqués par ces envahisseurs est estimé à 12 milliards d'euros pour l'UE!

Avec 37 espèces, cette liste ne serait d'ailleurs pas assez complète, selon la plupart des écologues, qui réclamaient l'inscription d'au moins 100 espèces. Par exemple, le moustique tigre, potentiellement porteur de la dengue, ou le charançon rouge, ravageur de palmiers, n'y figurent pas. Cet inventaire sera néanmoins mis à jour tous les six ans.

F. Gracci



Sans glyphosate, *quid* des dégâts du labour ?

Je suis agriculteur et utilise du glyphosate comme 95 % d'entre nous. J'ai trouvé votre enquête plutôt neutre car ce sujet est très polémique. Bravo, car vous donnez les éléments pour comprendre les enjeux. (…) Comme vous le soulignez, le glyphosate fait partie des produits les moins nocifs. Il apporte une vraie solution pour pratiquer le semis direct sous couvert, pour limiter la prolifération d'herbes pluriannuelles (…) ou pour détruire les ambroisies, très allergènes. S'en passer, c'est inciter les agriculteurs à augmenter le labour, aux conséquences bien plus néfastes : cela rend notamment les sols très érosifs, donc polluants.

Jacky Berland, Saint-Martin-de-Fraigneau (85)

S&V Le problème que vous soulevez est un des plus difficiles posés par l'imbroglio autour du glyphosate. Car ce produit permet effectivement de réduire le labour, voire de le supprimer – puisque la principale fonction du labour est de déraciner et détruire les "mauvaises herbes". Or, retourner périodiquement les sols a de nombreux inconvénients : cela tue de nombreux organismes et fait disparaître la matière organique (en l'exposant à l'air et au soleil), ce qui favorise l'érosion. Les spécialistes des sols sont donc divisés sur la question, et plusieurs nous ont dit préférer un usage prudent du glyphosate à la pratique répétée du labour profond. Cette division existe aussi parmi les agriculteurs, soucieux de durabilité : les tenants de "l'agriculture de conservation" (dont manifestement vous êtes) se concentrent sur l'élimination du labour, considérant le glyphosate comme un moindre mal, alors que ceux de "l'agriculture biologique" préfèrent labourer à fortes doses que recourir à la chimie. Pour que ces deux courants convergent, il faudra inventer une troisième voie, entre labour et chimie. Les pistes sont nombreuses (produits "naturels", cultures intermédiaires…), mais aucune n'est pour l'instant satisfaisante.

Des pesticides chez soi ?

A l'occasion de votre article sur le glyphosate, je m'interroge à nouveau sur les distances réglementaires de traitement par rapport aux habitations. En effet, mes parents ont au bout de leur jardin un champ régulièrement traité, ce qui occasionne des dépôts importants sur leur terrasse, table de jardin, etc., sans compter ce qu'ils inhalent… Je n'ai trouvé aucune information en ligne et, contactés par téléphone, le maire de la commune et la DREAL se renvoient la balle…

François Jacques, internet

S&V Le phénomène que vous décrivez est tout à fait préoccupant et bien connu des scientifiques. L'on appelle "dérive" des pesticides la fraction de l'épandage qui manque sa cible, et cette dérive varie entre 1 et 10 % en moyenne d'après l'EPA, l'Agence de protection de l'environnement américaine (elle varie selon le composé, la force du vent et la température, qui accroît la dérive). Le risque sanitaire induit est incontestable (quoique mal quantifié), mais la situation juridique française sur la question est complexe et contradictoire. Désormais, cependant, beaucoup de particuliers s'efforcent de s'organiser et de se protéger, et des associations mettent des conseils de plus en plus précis en ligne. Pour en savoir plus, vous pouvez par exemple consulter le site www.victimes-pesticides.fr/riverains/.

Erratum

Contrairement à ce que nous écrivions dans notre numéro "On ne saura jamais" (n°1186, p. 67), le système de Copernic décrit les mouvements des planètes en les plaçant sur des trajectoires circulaires et non pas elliptiques. Le premier à avoir parlé d'ellipses est Kepler, qui a calculé les mouvements de la planète Mars en se basant sur les observations de Tycho Brahe, découvrant sur son chemin les trois lois élémentaires de la mécanique céleste.



SCIENCE&VIE

Une publication du groupe
MONDADORI FRANCE

RÉDACTION
8, rue François-Ory
92543 Montrouge CEDEX.
Tél. : 01 46 48 48 48 - Fax : 01 46 48 48 67
E-mail : svmens@mondadori.fr

DIRECTEUR DE LA RÉDACTION
Matthieu Villiers,
assisté de Christelle Borelli

RÉDACTEUR EN CHEF
Hervé Poirier

RÉDACTEUR EN CHEF ADJOINT
Grégoire Bouillier (chef d'édition)

DIRECTRICE ARTISTIQUE
Yvonne Diraison

CHEFS DE SERVICE
Valérie Greffoz (actualités, société),
Caroline Tourbe (médecine)

CHEF DE RUBRIQUE
Muriel Valin (technologies)

RÉDACTEURS
Elsa Abdoun, Thomas Cavaillé-Fol, Mathilde Fontez, Vincent Nouyrigat, Emilie Rauscher

SECRÉTAIRE GÉNÉRALE DE RÉDACTION
Florence Roucolle

SECRÉTAIRES DE RÉDACTION
Anne Riera, Clara Baudel

MAQUETTISTES
Valérie Samuel-Charrier (1re maquettiste),
Elisabeth de Garrigues

SERVICE PHOTO-INFOGRAPHIE
Anne Levy (chef de service photo),
Katia Davidoff, Boris Bellanger
(chef de service infographie)

DOCUMENTATION
Marie-Anne Guffroy, Frédéric Vladyslav

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO
S. Aquindo, S. Aubin, L. Barnéoud, K. Bettayeb, L. Blancard, P.-Y. Bocquet, B. Bourgeois, F. Cadu, O. Capronnier, G. Cirade, A. Dagan, A. Debroise, S. Devos, O. Donnars, S. Fay, F. Gracci, M. Grousson, L. Guhur, E. Haentjens, M. Kontente, O. Lapirot, C. Martin, J. Maufay, M.-C. Mérat, E. Monnier, M.-A. Pelaez, N. Picard, A. Pihen, C. Plantureux, A. Rambaud, B. Rey, Y. Sciama, O. Surcouf, E. Thierry-Aymé, A. Vernet

DIRECTION-ÉDITION

DIRECTION PÔLE
Carole Fagot

DIRECTEUR DÉLÉGUÉ
Vincent Cousin

DIFFUSION
Jean-Charles Guérault (directeur diffusion),
Siham Daassa (responsable diffusion marché)

MARKETING/INTERNATIONAL
Gillane Douls, Mathilde Janier-Bonnichon,
Michèle Guillet

PUBLICITÉ

DIRECTEUR EXÉCUTIF
Valérie Camy

CONTACTS PUBLICITÉ
Virginie Commun (50 28),
Lionel Dufour (50 19)

PLANNING
Angélique Consoli (53 52),
Stéphanie Guillard (53 50)

TRAFIC
Stéphane Durand (53 12)

OPÉRATIONS SPÉCIALES
Jean-Jacques Benezech (19 83)

Grande-Bretagne : Publieurope LTD
(infolodon@publieurope.com –
44 (0)20 7927 9800) ;
Allemagne : Publieurope Munich
(infomunich@publieurope.com
0049 89 2908150) ;
Suisse : Publieurope Lausanne
(infolausanne@publieurope.com
0041 21 323 3110) ;
Espagne : Publimedia Madrid
(infomadrid@publim-gestion.es
0034 91 212 83 00)

FABRICATION
Daniel Rougier,
Agnès Châtelet

FINANCE MANAGER
Guillaume Zaneskis

ÉDITEUR
MONDADORI MAGAZINES FRANCE
Siège social : 8, rue François-Ory
92543 Montrouge Cedex

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION
Carmine Perna

ACTIONNAIRE PRINCIPAL
Mondadori France SAS

IMPRIMEUR : ELCOGRAF – ITALIE
N° ISSN : 0036-8 369
N° DE COMMISSION PARITAIRE :
1020 K 79977. Tarif d'abonnement légal :
1 an, 12 numéros : 44,80 €
1 an, 12 numéros + 6 HS : 64,80 €
Dépôt légal : septembre 2016

ABONNEMENTS
Christophe Ruet (directeur),
Catherine Grimaud (directrice marketing direct)
Johanne Gavarini (responsable marketing direct)

RELATIONS CLIENTÈLE ABONNÉS
Par téléphone : 01 46 48 48 96
Par courrier :
SERVICE ABONNEMENTS SCIENCE & VIE,
CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9
Pour vous abonner par internet :
www.kiosquemag.com
Etats-Unis et Canada : Express Mag,
Tél. : 1 800 363-1310 (français)
et 1 877 363-1310 (anglais).
Suisse : Edigroup, 022 860 84 50
mondadori-suisse@edigroup.ch.
Belgique : Edigroup Belgique, 070 233 304
mondadori-belgique@edigroup.be
Autres pays : nous consulter.

À NOS ABONNÉS
Pour toute correspondance relative à votre abonnement, merci d'indiquer votre numéro d'abonné présent sur le film ainsi que vos coordonnées. Les noms, prénoms et adresses sont communiqués à nos services internes et organismes liés contractuellement avec S&V sauf opposition motivée. Les informations pourront faire l'objet d'un droit d'accès ou de rectification dans le cadre légal. Les manuscrits envoyés ne sont pas rendus.

À NOS LECTEURS

RENSEIGNEMENTS
Par courrier :
8, rue François-Ory,
92543 Montrouge
Cedex
Par mail : sev.lecteurs@
mondadori.fr

PEFC
Hors encarts

ACPM OJD

COMMANDE D'ANCIENS NUMÉROS, RELIURES ET VPC
Tel : 01 46 48 48 83
Contact@laboutiquescienceetvie.com

Dans les kiosques

SECRETS DE CATHÉDRALES



Revue d'histoire des civilisations, *Les Cahiers de Science & Vie* renouvellent notre regard sur les cathédrales, sublimes édifices hauts en couleurs. Ce numéro s'invite dans ces lieux sacrés, qui furent aussi des lieux de vie, et révèle les secrets de leurs bâtisseurs.
Les Cahiers de Science & Vie, en kiosque le 7 septembre, 5,95 €

ENVIES D'ESPACE



Construire une base lunaire ? Coloniser Mars ? Plonger dans les océans d'Europe et de Titan ? Ce hors-série détaille 10 des projets parmi les plus fascinants de ce XXIe siècle. Tous n'iront sans doute pas à leur terme. D'autres, auxquels personne n'a encore songé, s'inviteront probablement dans la course. Une chose est sûre : la conquête spatiale n'a pas fini de faire rêver les Terriens !
Hors-série de Science & Vie, en kiosque le 9 septembre, 4,95 €

ALIMENTATION & BIEN-ÊTRE



Notre traditionnelle édition trimestrielle regroupant 100 questions/réponses passe à table. On y tord le cou à certaines idées reçues et on s'attarde sur quelques bonnes questions dont les réponses ne coulent pas de source. Les régimes, ça marche ? Manger bio, c'est mieux ? Le vin est-il bon pour la santé ? Est-il vrai que le café prévient la maladie d'Alzheimer ? Peut-on se passer de viande ?...
Science & Vie Questions/Réponses, en kiosque le 15 septembre, 4,50 €

SHUTTERSTOCK

actus

Ce néoneurone apparu à l'âge adulte (en beige) remanie sans cesse ses connexions (en bleu) avec les neurones voisins.



NEUROSCIENCES

LE CERVEAU ADULTE AFFICHE UN ÉTONNANT DYNAMISME

On croyait le cerveau adulte sur le déclin, condamné à l'altération progressive de ses connexions neuronales (les synapses). Rien n'est moins vrai : certaines régions cérébrales produisent à l'âge adulte de nouveaux neurones extrêmement dynamiques ! Découverts en 2003 chez les rongeurs et en 2014 chez l'humain, dans des zones associées à la mémoire et à l'apprentissage, ces néoneurones n'avaient jamais pu être observés *in situ*, ce qui empêchait de comprendre précisément leur fonction. Jusqu'à ce que des chercheurs de l'Institut Pasteur et du CNRS réussissent à suivre en direct pendant plusieurs mois la formation des circuits neuronaux dans le bulbe olfactif de souris, en les marquant avec une protéine fluorescente visible au microscope. Surprise : environ 20 % des connexions d'un néoneurone sont modifiées quotidiennement… soit 20 fois plus que la normale ! *"A la différence des autres neurones, relativement stables, ceux produits à l'âge adulte renouvellent et remanient sans cesse leurs connexions avec les cellules voisines*, explique Pierre-Marie Lledo, coauteur de l'étude. *De quoi permettre au cerveau de s'adapter de manière rapide et efficace à un environnement sensoriel changeant."* Voilà qui confirme la capacité extraordinaire de notre cerveau à se nourrir, à tout âge, de nos expériences et de la nouveauté. **E.H.**

INSTITUT PASTEUR/P.-M.LLEDO

PLANÉTOLOGIE

MARS AURAIT ACQUIS SES LUNES À LA SUITE D'UN CHOC GÉANT

Phobos et Déimos, les deux petits satellites martiens, se seraient formés après une collision massive avec un objet céleste : c'est ce que révèle une étude publiée dans *Nature Geoscience* par une équipe de chercheurs belges, français et japonais. Réfutant ainsi l'hypothèse jusqu'ici privilégiée selon laquelle ces satellites seraient des astéroïdes capturés par la planète rouge. *"Dans un tel scénario, les astéroïdes seraient arrivés au hasard, avec des orientations aléatoires*, note Sébastien Charnoz, coauteur de l'étude et astrophysicien à l'Institut de physique du globe de Paris. *La probabilité que l'un d'eux se place sur une orbite autour de Mars pile dans son plan équatorial* [comme c'est le cas pour Phobos et Déimos] *est mince. Alors la probabilité qu'il y en ait deux…"* D'après les simulations numériques réalisées par l'équipe, un embryon planétaire trois fois plus petit que la planète rouge aurait percuté Mars 100 à 800 millions d'années après sa formation, éjectant de grandes quantités de matière en orbite. Comme pour la Lune, cette matière se serait ensuite agrégée pour former les deux satellites. Reste à confirmer cette nouvelle hypothèse : ce sera l'objectif de la mission japonaise Martian Moons Explorer, qui doit s'envoler en 2022 en direction du système martien et rapporter de premiers échantillons de l'un de ses deux satellites. **C.P.**

> Phobos (photo) et Déimos ne seraient donc pas des astéroïdes, mais le résultat d'une collision avec un embryon planétaire.

1 million

C'est le nombre de trous noirs qu'abrite notre galaxie ! On pensait jusqu'ici qu'ils n'étaient "que" quelques milliers. Mais en pointant le télescope spatial américain à rayons X *Chandra* sur une source d'ondes radio, une équipe de l'université de l'Alberta (Canada) a découvert un nouveau représentant de cette famille de monstres astrophysiques : petit, discret, il pourrait se cacher partout autour de nous… y compris à quelques années-lumière seulement de la Terre. M.F.

BIOMÉCANIQUE

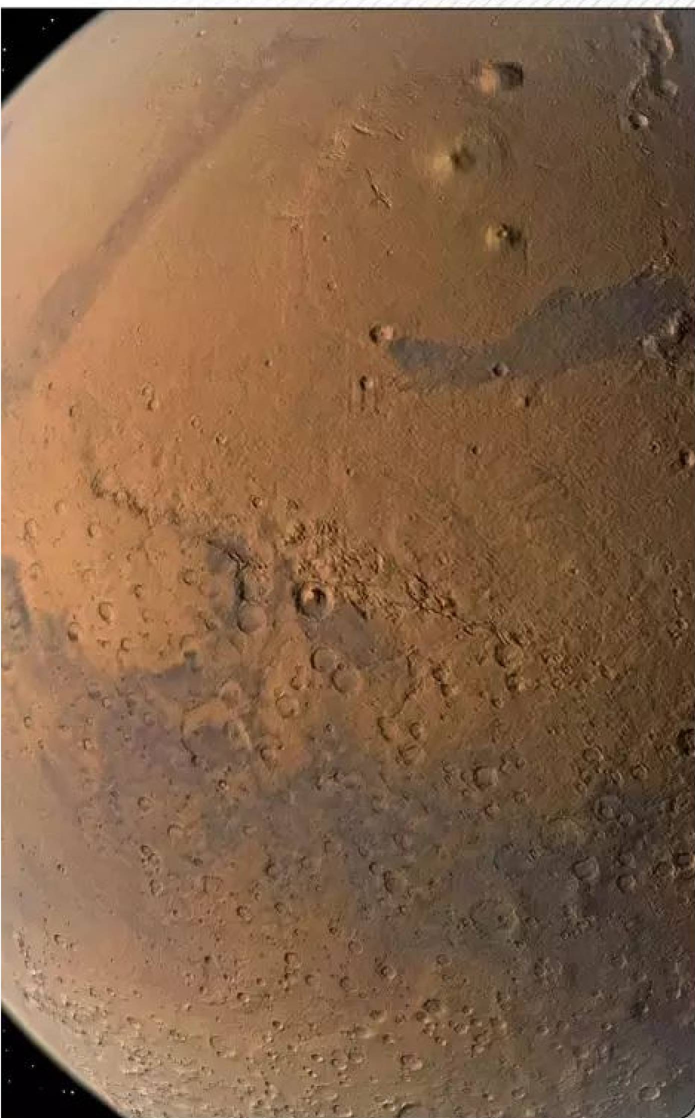
La salive du caméléon est un adhésif super-efficace

Lorsqu'il tire la langue, le caméléon est capable d'attraper une proie jusqu'à 55 % plus grosse que lui grâce à sa salive, 400 fois plus visqueuse que la nôtre ! C'est la conclusion de chercheurs belges qui ont calculé l'adhérence du mucus de l'animal. Comment ? Ils ont d'abord récupéré un échantillon de salive en plaçant une lame de microscope transparente entre un caméléon et sa proie, avant de l'installer sur un support légèrement incliné. Puis ils ont enregistré la vitesse d'une bille de métal roulant sur ce plan couvert de salive pour en déduire la viscosité. **O.S.**



Le whisky ne tache pas comme le café

Le whisky ne laisse pas les mêmes traces au fond d'un verre que le café au fond d'une tasse. Vous l'ignoriez ? Eh bien sachez que l'on sait maintenant pourquoi, grâce à une étude menée à l'université de Princeton (Etats-Unis). Les physiciens ont utilisé des particules fluorescentes pour filmer les mouvements qui agitent le précieux breuvage à mesure qu'il sèche, puis ont effectué des comparaisons avec des mélanges d'eau et d'éthanol à différentes concentrations. Conclusion, le mouvement du whisky est d'abord chaotique : l'alcool, plus volatil que l'eau, crée en s'évaporant un écoulement violent au sein du verre. Ensuite, au lieu d'un simple mouvement radial amenant les particules du centre vers les bords, comme on l'observe dans le cas du café (ce qui donne naissance à ces anneaux marron caractéristiques), le whisky subit un écoulement supplémentaire. Les responsables : des molécules tensioactives présentes dans le breuvage. *"Le whisky est un liquide très complexe*, conclut François Boulogne, l'un des membres de l'équipe. *On ne connaît pas tous les éléments qui le composent."* Une complexité qui prend, au fond du verre, la forme d'une succession d'anneaux colorés. **M.F.**





Elle est 400 fois plus visqueuse que la nôtre !

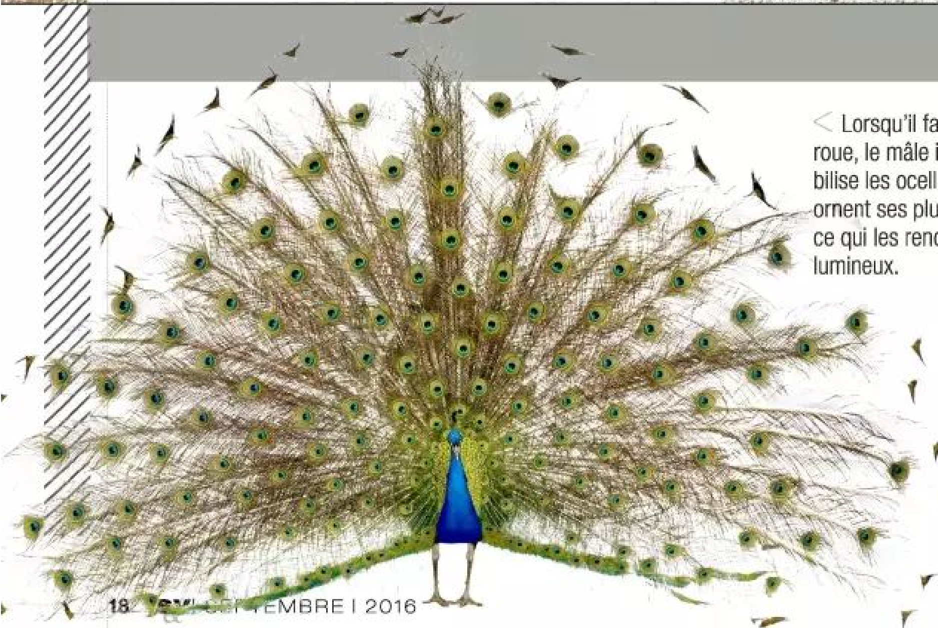
P.CARRIL/NOVAPIX - SHUTTERSTOCK - S.AQUINDO



ARCHÉOLOGIE

IL Y A 6000 ANS, DES TOMBES SERVAIENT À OBSERVER LE CIEL

Cette tombe mégalithique serait la plus vieille structure connue ayant servi à observer l'espace. Construite il y a 6000 ans au Portugal, elle fait partie d'un ensemble de sépultures toutes constituées d'un long et étroit couloir d'entrée menant à la chambre funéraire. Selon une précédente étude, l'orientation des corridors serait alignée sur la position de l'étoile Aldébaran quand elle apparaît au-dessus de l'horizon, entre fin avril et début mai – événement qui aurait pu servir d'indicateur pour débuter la transhumance. Ce que viennent de mettre en évidence des astronomes britanniques, c'est l'avantage offert par le couloir: il protège un observateur situé dans la tombe des premières lueurs du jour. L'obscurité intérieure assure une meilleure adaptation de l'œil aux faibles luminosités, comme celles des étoiles. *"Un observateur aurait ainsi repéré Aldébaran plusieurs jours, voire une semaine avant une personne située en dehors de la tombe"*, estime un membre de l'équipe, Daniel Brown, qui avance une nouvelle hypothèse: *"La détection quasi miraculeuse d'Aldébaran, avant que quiconque puisse la voir, a également pu être impliquée dans des rites de passage."* **O.L.**



< Lorsqu'il fait la roue, le mâle immobilise les ocelles qui ornent ses plumes, ce qui les rend plus lumineux.

ORNITHOLOGIE

Pour séduire, le paon

Quand les paons mâles font la roue, les femelles sont surtout séduites par leurs ocelles, ces "yeux" bleu foncé irisés et cerclés de vert qui ornent chaque plume, estiment des ornithologues canadiens. Grâce à une caméra haute vitesse, les chercheurs ont analysé



Le long corridor menant à la chambre funéraire garantissait une meilleure obscurité.

fait briller ses "yeux"

le mouvement des 100 à 150 plumes de la roue de quatorze mâles. Un scanner microscopique a montré que malgré les oscillations des plumes, les ocelles, reliés entre eux par des microcrochets, restent immobiles, ce qui rend leurs couleurs plus iridescentes. **O.D.**

en bref

DES GÈNES "ZOMBIES"

Chez le poisson-zèbre, certains gènes s'éveillent après la mort, restant actifs entre une demi-heure… et quatre jours ! Leur expression aurait été réprimée par d'autres gènes dans l'organisme vivant. **E.H.**

LE VERRE SAIT CHANGER D'ÉTAT

Le verre n'est finalement pas un liquide ultravisqueux. Une équipe franco-allemande révèle que même s'ils ne forment aucun motif régulier, ses atomes évoluent d'un état désordonné propre aux liquides vers un état ordonné à mesure qu'il se solidifie. **M.F.**

UNE ÉTOILE DOUBLE FILE À 517 KM/S

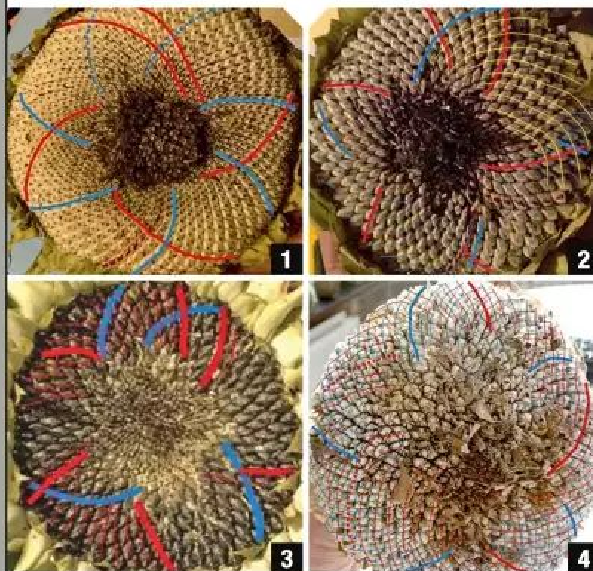
Soit deux fois plus vite que le Soleil ! Or, J1211 n'a pas pu être expulsée par le trou noir supermassif du centre de la Voie lactée comme les autres étoiles hypervéloces. Elle pourrait être issue d'une galaxie voisine et avoir été propulsée par sa destruction. **B.R.**

BIOMATHÉMATIQUES

La plupart des tournesols ne sont pas bons en maths

En théorie, les fleurons du tournesol (les centaines de petites fleurs qui composent la fleur centrale) dessinent un motif régulier en spirale qui obéit à une intrigante propriété : si l'on compte ces spirales, qui s'enroulent dans un sens et dans l'autre, on obtient deux nombres consécutifs de la suite de Fibonacci, une suite dans laquelle chaque terme est la somme des deux précédents (0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, etc.). Selon les biomathématiciens, il s'agit pour la fleur de maximiser le nombre de ses fleurons. Sauf que l'étude précise de 657 tournesols, réalisée dans le cadre d'un projet participatif (Turing's Sunflower Consortium), vient de révéler que ce lien avec la suite mathématique est souvent imparfait, voire inexistant dans 20 % des cas. *"La disposition des éléments qui composent une plante est le résultat de son développement*, analyse Arezki Boudaoud, du Laboratoire de reproduction et développement des plantes (Lyon). *Il n'est donc pas étonnant qu'il y ait des erreurs."* Munis de ces données précises, les scientifiques vont pouvoir maintenant s'atteler à déterminer le lien entre la structure d'une plante et les contraintes (sécheresse…) rencontrées au cours de sa croissance. **M.G.**

Le nombre de spirales au cœur de la fleur est censé obéir à une suite mathématique connue (1), mais ce résultat est souvent approximatif (2 et 3), voire complètement faux (4).

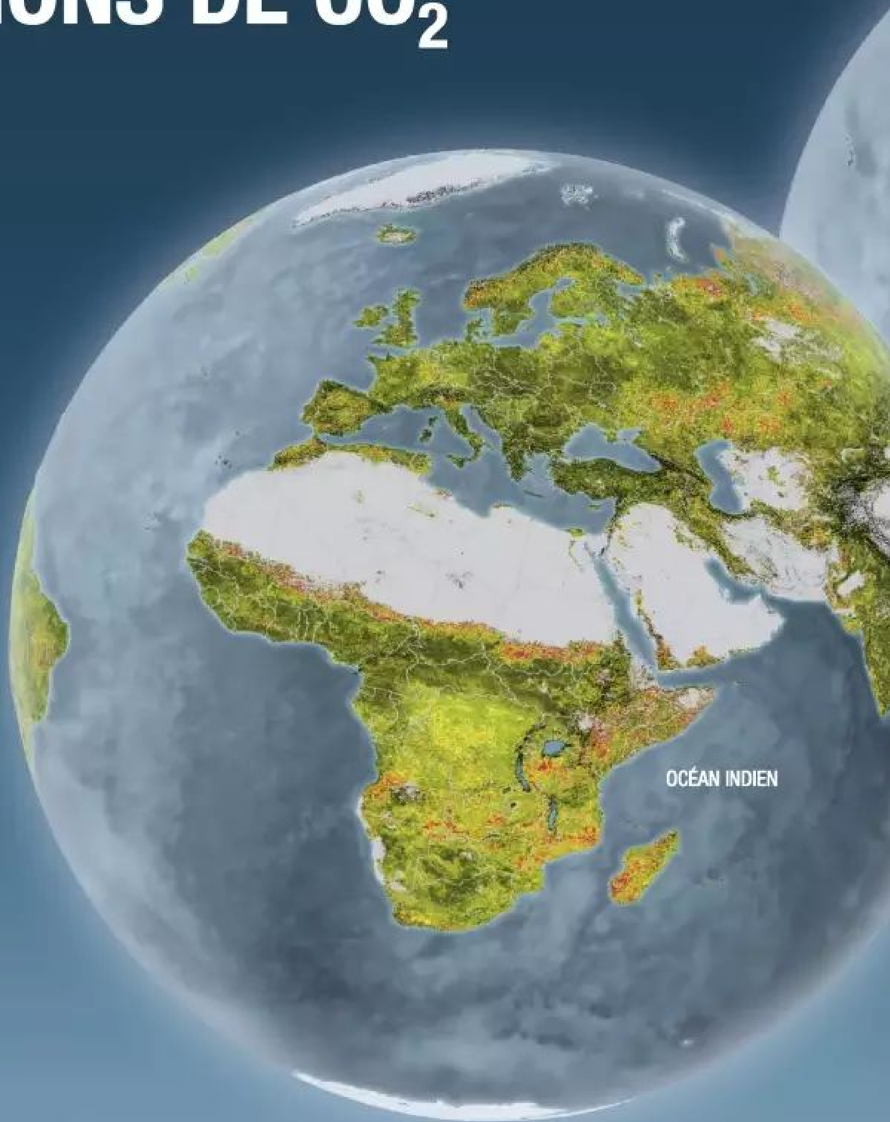


FABIO SILVA - SHUTTERSTOCK - J.SWINTON/E.OCHU/ROYAL SOCIETY OPEN SCIENCE

COUVERTURE VÉGÉTALE

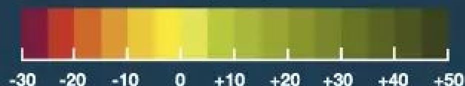
DEPUIS 30 ANS, LA TERRE VERDIT GRÂCE AUX ÉMISSIONS DE CO_2

La Terre est bien plus verte aujourd'hui qu'il y a trente ans, malgré le réchauffement climatique et les activités humaines. C'est ce qu'indiquent trois séries satellitaires compilées par une équipe internationale, qui a mesuré "l'indice de surface foliaire" (déduit de la quantité de lumière verte réfléchie par notre planète) entre 1982 et 2015. C'est ainsi l'équivalent d'un continent vert deux fois plus grand que les Etats-Unis qui serait apparu en trois décennies sur le globe ! Les chercheurs ont calculé que 70 % du verdissement vient de l'excédent de CO_2 rajouté à l'atmosphère par les activités humaines (qui permet aux plantes de pousser plus vite et avec moins d'eau) ; 9 % du supplément d'azote (un fertilisant) mis en circulation par l'humanité qui l'extrait de l'atmosphère pour fabriquer ses engrais ; et 8% du changement climatique (excédent de pluie sur le Sahel, migration de la végétation vers les pôles…). Le reste se répartit entre plusieurs causes mineures : irrigation, lutte contre les insectes… Les chercheurs avertissent néanmoins que l'effet fertilisant du CO_2 diminue avec le temps, et que d'autres aspects du changement climatique restent menaçants (hausse du niveau des mers, acidification des océans, événements extrêmes, etc.). Y.S.



Le verdissement concerne la moitié de la surface végétale terrestre

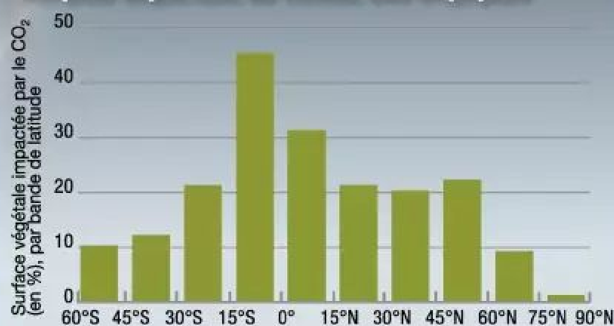
Evolution de la surface foliaire au cours de la période 1982-2015 (en %).



OCÉAN PACIFIQUE

OCÉAN ATLANTIQUE

L'effet de l'augmentation du CO_2 sur la végétation est plus important au niveau des tropiques



SOURCES : Z. ZHU, NATURE CLIMATE CHANGE, 2016.

18 millions

C'est, en km², la surface végétale en plus sur Terre depuis 1982.

5 milliards

C'est le nombre de tonnes de carbone que les écosystèmes retirent chaque année de l'atmosphère par la photosynthèse.

4 %

C'est la surface du globe qui est devenue moins verte (brunissement).

G.CIRADE - M.KONTENTE

OCÉANOGRAPHIE

UN VRAI MODÈLE DE GESTION DES CORAUX A ÉTÉ MIS AU POINT

Une équipe internationale à forte participation française vient de mettre au point une méthode simple et prometteuse pour protéger les récifs coralliens, dont on connaît le mauvais état (voir *S&V* n° 1184). Le principe? *"Identifier les récifs qui se portent mieux que prévu, comprendre les raisons de leur état et tenter d'en déduire des actions de conservation ailleurs"*, explique Laurent Vigliola, cosignataire de l'étude et chercheur à l'IRD. Les scientifiques ont d'abord créé un modèle prédictif de l'abondance de poissons coralliens à partir de 18 variables biologiques et socio-économiques (liées aux activités humaines). Ils ont ensuite, à la lumière de ce modèle, examiné 2 500 récifs, parmi lesquels ils en ont sélectionné 15 qui apparaissaient en meilleure santé que ce qui était prédit. Ce qu'ils appellent des "points brillants" ne sont pas nécessairement situés dans des zones inhabitées ou des pays riches, au contraire. Leur point commun? *"Nous nous sommes rendu compte que les populations locales y sont impliquées dans la protection du récif, et qu'elles utilisent des mécanismes de régulation, tels que des zones protégées ou taboues"*, précise Laurent Vigliola. Ce modèle permet en outre des analyses locales fines qui seront précieuses pour bien gérer les récifs demain. **Y.S.**



Un modèle d'étude des récifs a montré que les zones protégées ou taboues préservaient efficacement les coraux.

400 ppm

C'est le seuil atteint, en mai, pour la première fois dans l'histoire, par le taux de CO_2 mesuré dans l'air sur l'île d'Amsterdam. Située dans le sud de l'océan Indien, cette île est un des points les plus éloignés des sources de dioxyde de carbone de la planète. On peut donc en déduire que cette barre symbolique a été franchie sur l'ensemble du globe. Depuis un million d'années, ce taux oscillait entre 180 et 280 ppm. Y.S.

ZOOLOGIE

Nourrir les animaux sauvages nuit vraiment à leur santé

Une étude vient enfin de démontrer ce que beaucoup soupçonnaient depuis longtemps: nourrir les animaux sauvages détériore leur santé au lieu de favoriser leur survie. Les chercheurs ont étudié deux groupes de macaques de Barbarie dans le parc national d'Ifrane, au Maroc. Le premier reçoit environ 50 % de sa nourriture de touristes, quand le second, installé à seulement 2 km de là, se nourrit presque exclusivement dans la nature. Résultat? Niveau de stress, surpoids, blessures, maladies, état du pelage et taux de fécondité indiquent tous une détérioration sanitaire des animaux nourris. **Y.S.**





CLIMATOLOGIE

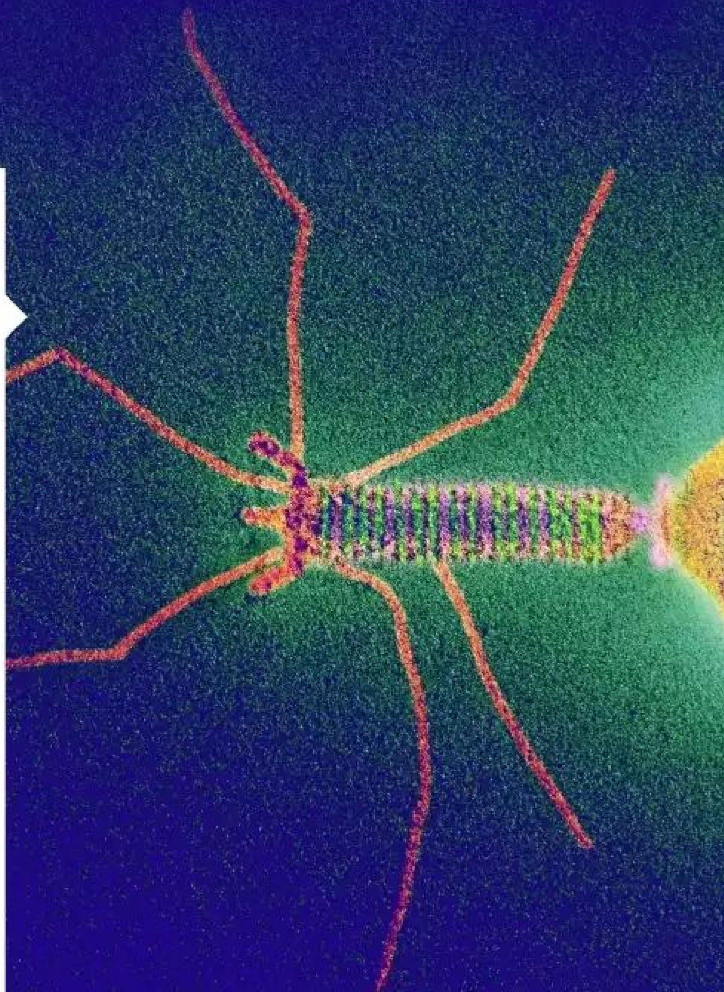
Les bouses des vaches sous antibiotiques réchauffent le climat

Donner des antibiotiques aux vaches aurait aussi des conséquences écologiques ! C'est ce que pensent des biologistes américains et finlandais partis de l'idée que si les antibiotiques donnés aux animaux d'élevage modifient leur flore intestinale, ils peuvent aussi affecter leurs émissions de gaz à effet de serre (GES) – rappelons que les flatulences des ruminants représentent environ 5 % de ces émissions. Ils ont donc collecté les bouses de cinq ruminants traités durant trois jours avec un antibiotique, la tétracycline. Puis ont mesuré les émissions de CO_2, de méthane et d'oxyde nitreux, trois GES. Dans ces excréments, les biologistes ont placé des bousiers, qui se nourrissent de déjections. Si aucun impact notable sur la taille ou le nombre de bousiers n'a été constaté, leur flore intestinale, en revanche, a été modifiée. Plus surprenant encore : les bouses des ruminants sous antibiotiques ont émis 1,8 fois plus de méthane que la normale. *"En réduisant le nombre de bactéries intestinales, le traitement antibiotique a dû favoriser la prolifération d'organismes unicellulaires méthanogènes"*, indique un des auteurs de l'étude, Tobin Hammer, de l'université du Colorado. Reste à confirmer ces premiers résultats par une étude plus vaste, avant de regarder si tous les antibiotiques peuvent être incriminés. **O.D.**



Les bouses qui contiennent des antibiotiques modifient la flore intestinale des bousiers… mais produisent également plus de méthane.

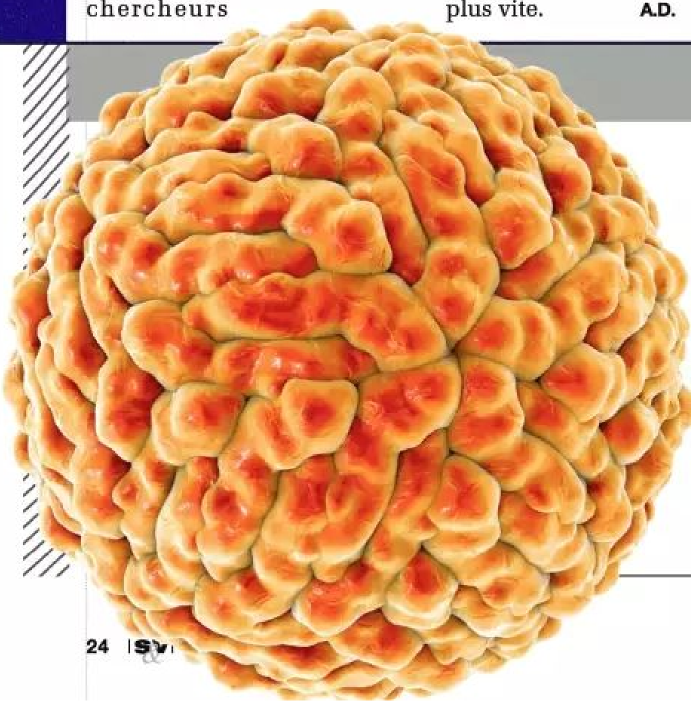
IRD/S. ANDREFOUET - PETE OXFORD/MINDEN PICTURES - SCIENCE SOURCE/BSIP



MICROBIOLOGIE

UN VIRUS S'ATTAQUE À DES BACTÉRIES MULTIRÉSISTANTES

C'est une des souches bactériennes les plus inquiétantes du moment : *Escherichia coli* ST131-O25b:H4 a provoqué dans le monde, depuis 2008, des milliers d'infections urinaires, de pneumonies et de septicémies, insensibles à la plupart des antibiotiques. Deux équipes parisiennes, celles de Laurent Debarbieux (Institut Pasteur) et de Jean-Damien Ricard (laboratoire Infection, antimicrobiens, modélisation, évolution), pourraient avoir trouvé la parade : un virus bactériophage qui tue certaines bactéries sans infecter les cellules humaines. Les chercheurs ont identifié, dans des eaux d'égouts particulièrement riches en microbes, un bactériophage qui s'attaque spécifiquement à des colonies d'*E.coli* multirésistantes prélevées chez des malades. Injecté à des souris infectées, il a divisé par 40 à 1 000 la charge bactérienne dans les organes touchés. Pour les scientifiques, ce bactériophage pourrait au moins éviter que la souche multirésistante se dissémine dans le monde. Reste à déterminer s'il pourrait aussi guérir des patients. Les chercheurs souhaitent mettre en route des essais cliniques au plus vite. **A.D.**



IMMUNOLOGIE

Un vaccin pourrait cibler à la fois

Une injection qui protégerait à la fois de la dengue et de Zika (photo), deux virus de la même famille et transmis par des moustiques ? Cet espoir, encore lointain, s'appuie sur la découverte, par des chercheurs de l'Institut Pasteur, associés à des Britanniques et à des Autrichiens, d'un antigène dans une zone commune aux deux virus. Il pourrait servir de base à un vaccin qui aiderait l'organisme à détruire les deux pathogènes en même temps. La dengue sévit dans la zone intertropicale, où elle pro-

Un virus pourrait empêcher certaines bactéries *E. coli* de se disséminer.

la dengue et Zika

voque de nombreux décès chez des enfants. Et où les infections par Zika se multiplient. Ce virus, que l'on croyait inoffensif, a récemment été associé à des cas de microcéphalies et des syndromes de Guillain-Barré au Brésil ainsi q'en Polynésie. O.C.

en bref

LES FAUX SUCRES DOPERAIENT L'APPÉTIT

Une équipe australienne a montré qu'après cinq jours d'un régime à l'édulcorant, les mouches mangent 30 % de plus que la normale ! En effet, le cerveau régule la faim en associant goût sucré et apport énergétique : l'édulcorant sans calorie perturbe ce mécanisme. A.R.

UN SPRAY ANTI-CHLAMYDIA À L'ÉTUDE

Un vaccin contre cette infection sexuellement transmissible fait l'objet d'études préliminaires par une équipe canadienne. Il est testé chez la souris sous forme de spray nasal. C.T.

LA FIV N'INDUIT PAS LE CANCER

Bonne nouvelle : les traitements utilisés pour la stimulation ovarienne dans le cadre d'une fécondation *in vitro* n'induisent pas de risque plus élevé de cancer du sein, selon une vaste étude néerlandaise. C.T.

OPHTALMOLOGIE

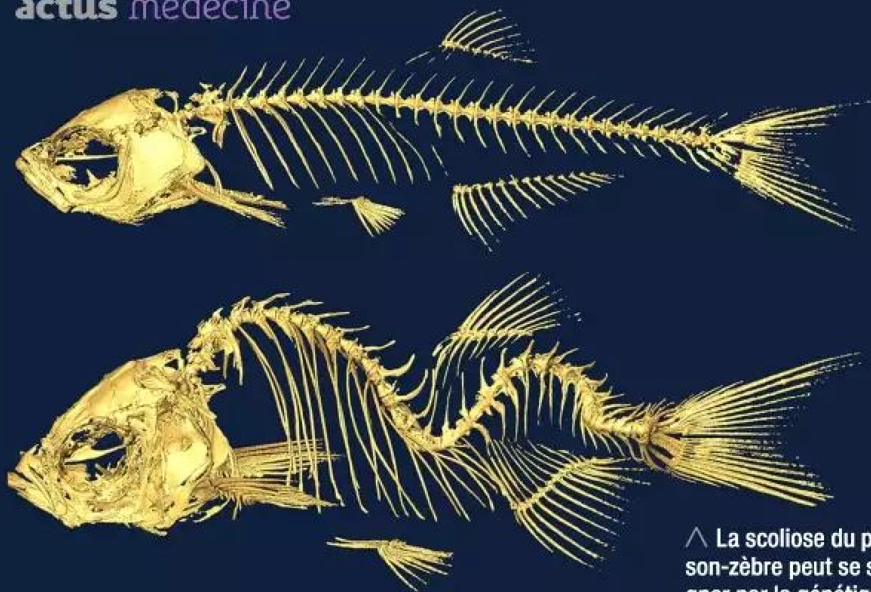
Une nouvelle écriture facilite la lecture des malvoyants

Une nouvelle police de caractères, voilà la solution proposée par des chercheurs CNRS du Laboratoire de psychologie cognitive de Marseille pour faciliter la lecture chez les personnes malvoyantes atteintes de dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA). Ces dernières perdent leur vision centrale et doivent se reposer uniquement sur leur vision périphérique, ce qui provoque notamment des confusions entre lettres d'apparence proche (b et d, p et q, h et l, etc.). Les chercheurs ont donc imaginé une nouvelle police, Eido (mot grec signifiant "perception visuelle"), qui maximise les différences entre les lettres. Testée sur des personnes chez qui ils avaient simulé une perte de vision centrale, elle a entraîné un tiers d'erreurs de lecture en moins par rapport à la police classique Courier, et une vitesse de lecture de certains mots plus élevée. En revanche, la rapidité globale de lecture d'un texte n'était pas meilleure. Pour améliorer leur police, les chercheurs l'ont mise en libre accès sur internet (http://lpc.univ-amu.fr/spip.php?article159) et comptent sur les retours d'un maximum d'utilisateurs. En parallèle, ils lancent une étude chez des patients atteints de DMLA à l'hôpital de la Timone, à Marseille, avec l'espoir, en cas de succès, que les éditeurs proposent cette police par défaut dans les appareils électroniques ou les livres. A.R.



Pour les gens atteints de DMLA, les lettres se distinguent plus nettement.

SPL/COSMOS - SPL/BSIP - JEAN-BAPTISTE BERNARD/CNRS-UMR



La scoliose du poisson-zèbre peut se soigner par la génétique.

PHYSIOLOGIE

LE CAS DU POISSON-ZÈBRE ÉCLAIRE CERTAINES SCOLIOSES

Les scolioses idiopathiques sont un casse-tête pour les médecins : elles frappent 3 % des enfants dans le monde, infligeant à leur colonne vertébrale des torsions aussi inexpliquées que douloureuses. Le petit poisson-zèbre vient toutefois de fournir une explication inédite, découverte par des équipes des universités de Princeton et de Toronto : pour croître normalement, sa colonne (comme la nôtre) a besoin que le liquide céphalorachidien qui baigne le système nerveux soit canalisé. Or, les biologistes ont découvert que chez des poissons scoliotiques, les cellules ciliées responsables de la bonne gestion de ce flux étaient perturbées par une mutation de leur gène ptk7 (codant pour une protéine régulatrice). En corrigeant cette erreur, ils ont restauré le flux de liquide et limité la déformation de la colonne. *"Ce qui prouve, en théorie, que le développement d'une forte scoliose pourrait être traité par ce biais, sans chirurgie lourde"*, précise l'étude. **E.R.**

NEUROLOGIE

Il existerait des neurones de la sobriété

Suffirait-il d'activer certains neurones pour rester sobre ? Des chercheurs américains ont constaté qu'une consommation régulière d'alcool entraîne l'inhibition des neurones à dopamine D2, situés dans une zone du cerveau impliquée dans la prise de décision. Quand les chercheurs excitent ces neurones chez des souris, elles refusent l'alcool proposé. Reste à prouver qu'il en va de même chez l'homme… **A.R.**



SCIENCE/AAAS - SHUTTERSTOCK

42 %

C'est le pourcentage de grands prématurés (nés avant le 8e mois de gestation et représentant 1 à 2 % des naissances) qui, en Europe, ne bénéficient pas de tous les soins recommandés pour leur santé, selon l'étude Epice, coordonnée en France par l'Inserm. A savoir : le transfert de la femme enceinte dans un centre spécialisé, l'administration de médicaments (corticostéroïdes, surfactants) pour les poumons de l'enfant avant et après la naissance, et la prise en charge de l'hypothermie. C.T.

MATÉRIAU

UN LOGICIEL A IMPRIMÉ CES CHEVEUX EN 3D

Des chercheurs américains du MIT ont inventé un logiciel, nommé Cilllia, qui permet d'imprimer des cheveux à l'aide d'une imprimante 3D standard. Au lieu de modéliser des milliers d'entre eux un par un, ce qui peut prendre des heures, Cilllia fonctionne en enregistrant quatre paramètres : leur épaisseur, leur densité, leur longueur et leur angle. Le logiciel commence par reproduire un seul cheveu sous la forme d'un cône de pixels empilés, de la base vers la pointe. Le cheveu est ensuite dupliqué par milliers sur une surface où l'on peut modifier les paramètres grâce à des indications de couleurs, ce qui permet de créer une coiffure entière. Par exemple, si la couleur rouge représente la longueur d'un cheveu (plus le rouge est intense, plus le cheveu est long), on fait varier son intensité d'un bout à l'autre de la surface pour obtenir un dégradé de longueur ; une autre couleur pourra indiquer l'absence de cheveux à un endroit donné pour reproduire une tonsure. La pilosité ainsi modélisée en quelques minutes est ensuite imprimée en 3D sur une surface plane ou courbe. Cette technologie pourrait servir à fabriquer des perruques, mais aussi des capteurs dotés de poils, des surfaces adhésives de type Velcro ou tout simplement des peluches douces au toucher ! **S.F.**





> Vingt-sept moteurs et onze vertèbres composent ce robot.

ROBOTIQUE

Cette salamandre artificielle rampe, marche et nage

Avec ses 27 moteurs et ses 11 segments vertébraux, ce robot imite à la perfection la salamandre *Pleurodeles waltl*. Conçu à l'Ecole polytechnique de Lausanne, cet amphibien artificiel a été élaboré à partir de radiographies de l'animal. Selon Auke Ijspeert, à l'origine de ces travaux, *"il s'agissait de trouver un équilibre entre une structure osseuse simplifiée et la reproduction de la marche de la salamandre*". Une impression 3D plus tard, voilà un robot qui devrait permettre de mieux comprendre la locomotion des vertébrés, voire de découvrir de nouveaux traitements de la paraplégie. **A.V.**

< Cilllia permet de fabriquer des cheveux en quelques minutes seulement.

MICROCAVE À VIN

Pour étudier la fermentation alcoolique, des chercheurs ont conçu un système capable de produire un millilitre de vin par heure. Une aubaine pour les vignerons, en quête d'outils pour tester de nouvelles recettes et adapter leurs pratiques aux changements climatiques. **A.V.**

CHIRURGIEN COMESTIBLE

Une équipe du MIT a développé un robot surprenant… De la taille d'une capsule pharmaceutique, il s'ingère et peut réaliser une opération interne, comme déplacer par aimantation une pile bouton avalée par accident. **S.D.**

UNE COLLE RÉVERSIBLE

Des chercheurs ont inventé une colle à base de gallium dont l'adhésion varie en fonction de la température. Liquide au-delà de 30 °C, le gallium se solidifie en deçà. Il suffit de chauffer les parties assemblées pour les redécoller. **S.F.**



∧ Une impulsion sur le fer le compresse et le chauffe à la fois.

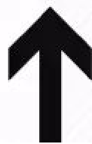
OPTIQUE

Des lasers restituent les conditions du centre de la Terre

Pour simuler les températures et la pression extrêmes du cœur de la Terre, une équipe internationale vient de présenter une nouvelle technique : la compression dynamique. Un laser de très haute énergie permet d'étudier notamment le fer, principal constituant interne des planètes rocheuses. Une impulsion de quelques nanosecondes sur le métal déclenche une onde de choc, laquelle compresse et chauffe simultanément le matériau, permettant d'atteindre plusieurs dizaines de milliers de degrés Celsius et des dizaines de millions de fois la pression atmosphérique. Bien plus que les méthodes actuelles de compression statique à l'aide d'enclumes de diamant. Applicable à de nombreux matériaux, la technique va permettre de comprendre leur réaction quand ils se trouvent dans le noyau et le manteau d'une planète tellurique. **O.L.**

1,513

C'est le temps, en secondes, qu'il a fallu à la Grimsel pour passer de 0 à 100 km/h, établissant ainsi un nouveau record du monde. Cette voiture de course, mise au point par des étudiants suisses, a une particularité : elle est entièrement électrique. De quoi augurer des sports automobiles plus écologiques. S.D.



K. KARAKASILIOTIS & R. THANDIACKAL, BIOROB, EPFL - MIT - NORIMASA OZAKI / OSAKA UNIVERSITY



LE SABLIER 15,90 € seulement

Laissez-vous hypnotiser

Inlassablement, créez de nouvelles formes avec ce sablier écoulant une très fine limaille de fer, hautement magnétique. Chaque sculpture créée est unique. Influencez vos créations en penchant plus ou moins le sablier.

Sablier magnétique

Sablier en verre. Base aimantée en métal cuivré. Sable : limaille de fer (particules aimantées). Création de « sculptures » uniques lorsque la poudre tombe. Dimensions approximatives : 14 x 8 x 8 cm.

Blindage spécial





FABRICATION EUROPÉENNE TESTÉ EN LABORATOIRE

Protégez-vous !

Véritables barrières contre le vol des données bancaires, les étuis SECVEL® empêchent la lecture et le piratage des données à distance, évitent la démagnétisation, le pliage, la chaleur et les rayures. Chaque porte-cartes permettent de ranger jusqu'à 4 cartes de 90 x 61 mm, tout en leur offrant une protection optimale !

OFFRE SPÉCIALE DEUX PORTE-CARTES

LOT DE 2 14,90 € au lieu de ~~19,80€~~ seulement !

Porte-cartes sécurisé SECVEL - 9,90 €

Dim. 9 x 6,1 x 0,3 cm Technologie brevetée SECVEL®. Matière : PVC, plastique sans phtalates. Fabrication européenne.

Modèle « Porte-passeport » en vente sur laboutiquescienceetvie.com

Visuels non contractuels

LE LIVRE ASTRONOMIE DU MOIS



Prix public : ~~18€~~ 17,10 €

RÉDUCTION SPÉCIALE -5%

- Quelle température fait-il sur Vénus ?
- Quelle est la différence entre un pulsar et un quasar ?
- Doit-on parler d'univers ou de « multivers » ?
- Y a-t-il d'autres formes de vie ailleurs ?...

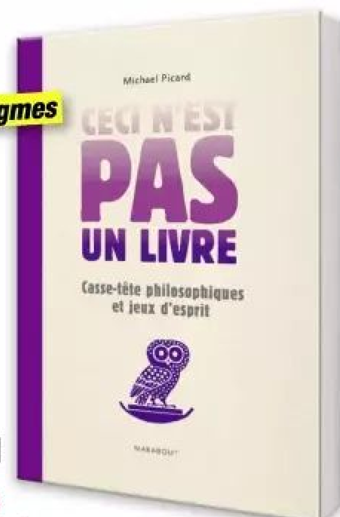
Une petite mise au point astronomique ?

Rien de tel que cet ouvrage de vulgarisation intelligente pour mettre à jour vos connaissances en astronomie. Retrouvez 50 grandes observations astronomiques clairement expliquées et les fiches profils des plus grands scientifiques en ce domaine.

3 minutes pour comprendre les 50 plus grandes observations en Astronomie

Auteur : François Fressin. Dim. 19 x 24 cm. 160 pages. Le Courrier du Livre.

Ludique : exercices et énigmes



Déjouez les méandres de votre esprit !

Ouvrir votre esprit, réveiller vos neurones, remettre en question les bases de vos opinions et de votre savoir… Voici ce que vous réserve ce livre appliquant les outils de la philosophie aux situations de la vie quotidienne. Pour que la banalité sorte à jamais de votre quotidien !

Ceci n'est pas un livre - 12,90 €

Auteur : Michael Picard. Dim. 14,5 x 22 cm. 158 pages. Marabout.

ÉCHEC SCOLAIRE
L'INJUSTICE FAITE AUX GARÇONS

Les chiffres sont imparables : les garçons échouent davantage que les filles à l'école. Et cette inégalité entre les sexes se creuse de plus en plus… Fatalité biologique ? Ou poids de facteurs sociaux et de stéréotypes culturels ? L'enquête d'**Elsa Abdoun**.

Salaire, tâches ménagères, présence à l'Assemblée nationale ou à la tête des grandes entreprises, violences domestiques… Aujourd'hui encore, inégalité des sexes est presque toujours synonyme d'injustice faite aux femmes. Presque. Car il est au moins un domaine où il vaut mieux posséder un second chromosome X qu'un Y : l'école.

Les chiffres sont éloquents : 12 % des garçons entrent avec au moins une année de retard en 6e, soit un tiers de plus que les filles ; 20 % quittent l'école sans diplôme ou seulement avec le brevet, soit deux fois plus que leurs camarades de sexe féminin ; plus d'un quart d'entre eux ne maîtrisent pas les compétences de base en français à la fin de la 3e, et arrêtent leur scolarité sans baccalauréat, soit là aussi presque deux fois plus que les filles. *"Il est très clair que, quels que soient les indicateurs qu'on regarde, les filles sont meilleures que les garçons"*, concède Florence Robine, directrice générale de l'enseignement scolaire au ministère de l'Education nationale.

Et cet écart va croissant : en 1990, le taux de sorties sans diplôme ou seulement avec le brevet était très proche entre filles et garçons, à respectivement 25 % et 30 %. Mais ce taux a depuis diminué →

En 2000

69,1 % des filles sont bachelières, contre seulement **57 %** des garçons.

MATHIEU CUGNOT/DIVERGENCE - BORIS BELLANGER

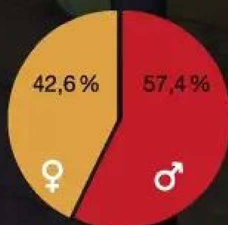
Au bac, l'écart entre garçons et filles se creuse

Déjà en 2000, la proportion de filles bachelières était supérieure de 12,1 points à celle des garçons. En 2014, cet écart s'était élargi jusqu'à atteindre 13,3 points. Et ce malgré un accès facilité, depuis 2012, au baccalauréat professionnel, auquel candidatent plus de garçons.

Les garçons redoublent plus souvent…

A l'entrée en 6e, 12 % des garçons ont déjà au moins une année de retard – un tiers de plus que les filles.



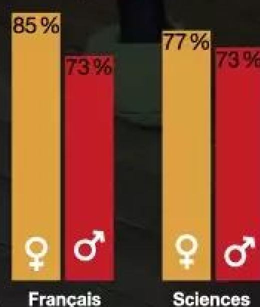


… ont plus tendance à "décrocher"…

Les élèves qui abandonnent leurs études en cours d'année sont plus souvent des garçons.

… et ont plus de difficultés en fin de collège

En 3e, les filles sont plus nombreuses à maîtriser les compétences de base en français et en sciences.



SOURCES : MENSER-DEPP - SIEI

quasi exclusivement chez les filles. Dans un rapport de l'Unicef datant d'avril, la France apparaissait même 26e (sur 39 pays étudiés) dans le classement des inégalités liées au sexe en sciences, en mathématiques et en français chez les adolescents de 15 ans. L'agence de l'ONU qualifiait alors d'*"important handicap"* la faiblesse scolaire du prétendu "sexe fort".

Un échec dû à des facteurs sociaux...

Plusieurs études mettent en évidence des inégalités sociales qui expliqueraient pourquoi les garçons sont moins bons à l'école. Parmi elles : une éducation encourageant moins l'apprentissage de la discipline, des loisirs moins favorables à la réussite scolaire et des stéréotypes qui renforcent leurs difficultés.

PLUS SOUVENT PUNIS

Cet échec des garçons n'est pas une fatalité: de nombreuses études démontrent les causes sociales de cette injustice (voir ci-contre) et laissent par là même entrevoir des solutions.

Plusieurs travaux suggèrent tout d'abord que les adultes pourraient encourager inconsciemment l'indiscipline chez les garçons: des chercheurs de l'université Paris 8 ont montré que dès la crèche, les assistantes maternelles coupent moins souvent la parole aux garçons qu'aux filles, et ont moins tendance à les inciter à s'adonner à des activités calmes. Au point que ces derniers finiraient par intégrer l'idée d'une "nature" masculine agitée: en 2009, Sylvie Ayral concluait, dans sa thèse de doctorat en sciences de l'éducation basée sur l'étude de plusieurs collèges français, que les garçons provoquent parfois volontairement la punition pour prouver leur virilité. Or, en plus de nuire à la concentration, l'agitation en classe influence fortement les notes et les choix d'orientation.

Une tendance à l'indiscipline



Dans une étude menée sur 5 collèges français en 2009, les garçons représentaient au minimum les trois quarts des élèves punis.

A l'inverse, *"l'école semble relever du registre du féminin"*, affirme Stéphane Clerget, pédopsychiatre et auteur de *Nos garçons en danger!* (Flammarion, 2015), qui l'explique par la prépondérance des femmes dans le personnel scolaire et le fait que *"ce sont principalement les mères qui s'occupent de la scolarité"*. Ce qui en éloignerait les garçons. Des études, britanniques celles-là, ont ainsi montré qu'ils évitent parfois de travailler pour ne pas "passer pour des homos"... Tandis que l'enquête Pisa (Programme international pour le suivi des acquis des élèves) menée par l'OCDE en 2012 révélait que les adolescents français sont 50 % plus nombreux que les adolescentes à ne pas valoriser les résultats scolaires.

Certes, pour ces dernières, il s'agit aussi de se préparer à rencontrer par la suite plus de difficultés que les garçons. *"Pour certaines d'entre elles, l'école apparaît comme une possibilité d'émancipation"*, affirme Dominique Lafontaine, directrice du Service d'analyse des systèmes et des

Les filles moins bonnes en maths?

Si, au baccalauréat général 2015, les filles ont obtenu en moyenne 0,8 point de plus que les garçons à l'épreuve de mathématiques de la filière économique et sociale, et 0,85 point de plus à celle, optionnelle, de la filière littéraire, elles ne représentaient que 46 % des candidats au bac scientifique, où elles ont obtenu 0,25 point de moins que les garçons. Tandis qu'aux tests Pisa 2012 de l'OCDE, le score des Françaises de 15 ans était inférieur de 9 points, sur 495 points au total, à celui de leurs homologues masculins (soit une différence de 2 %). L'écart n'est pas énorme. Mais les filles pourraient faire mieux.

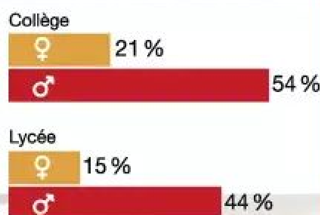
De très nombreuses études ont en effet démontré qu'elles étaient, en mathématiques, victimes des stéréotypes. Une expérience française publiée en 2007 a par exemple montré, parmi des élèves de 6e et de 5e, que les filles réussissaient aussi bien que les garçons, voire mieux, un exercice consistant à reproduire une figure géométrique... à condition qu'on le leur présente comme une épreuve de dessin. De plus, l'enquête Pisa 2012 a démontré que, à performances égales, les filles étaient plus anxieuses et moins sûres d'elles en mathématiques. Un état d'esprit dont les méfaits sont surtout visibles au moment de l'orientation vers les études supérieures (lire l'encadré p. 37).





Plus de temps passé sur les jeux vidéo

En 2013, les adolescents étaient jusqu'à 3 fois plus nombreux que les adolescentes à jouer à plus de 4 jeux vidéo dans la semaine.

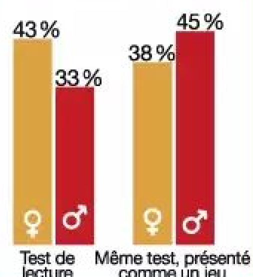






Des stéréotypes pesants

Les garçons réussissent mieux un test de lecture quand on leur fait croire que c'est un jeu.



M.CUGNOT/DIVERGENCE - BELPRESS/MAXPPP - J.NIETH PLAINPICTURE - F.COURTÉS/AGENCE VU - B.BELLANGER

pratiques d'enseignement à l'université de Liège.

D'autant plus que, à diplôme égal, les femmes réussissent moins bien professionnellement que les hommes, qui demeurent largement avantagés en matière d'emploi: ils sont en moyenne mieux rémunérés, moins sujets au travail à temps partiel subi, et leur taux de chômage reste légèrement plus faible que celui des femmes. Une injustice qui commence toutefois à être ébranlée par la meilleure réussite scolaire des filles et par la baisse du nombre d'emplois peu qualifiés. Ainsi, depuis 2007, le chômage des jeunes hommes, moins diplômés, est supérieur à celui des jeunes femmes.

LES LIVRES AUX FILLES !

Quoi qu'il en soit, cela n'explique pas pourquoi les difficultés des garçons sont plus marquées en français…

Encore une fois, le rejet de l'image féminine serait en cause: *"Exprimer des émotions, comme l'implique l'écriture, est jugé contraire à la notion de virilité"*, analyse Marie Duru-Bellat, sociologue spécialiste de l'éducation, qui ajoute qu'*"à la maison, c'est la maman qui raconte les histoires"*. Des travaux du sociologue Bernard Lahire montrent également que, dans certains milieux populaires, l'écriture, dans son usage domestique, est plus souvent assurée par les femmes.

Les loisirs jouent évidemment aussi un rôle: 70 % des filles lisent durant leur temps libre, principalement des romans, contre seulement 52 % des garçons, qui favorisent les bandes dessinées. En revanche, ils jouent beaucoup plus aux jeux vidéo: dans une enquête de 2014, près de la moitié des adolescents français interrogés disaient avoir joué à au moins quatre jeux vidéo différents dans la semaine précédente, contre seulement 15 à 20 % des filles du même âge. Ils jouent de plus préférentiellement en réseau, une pratique particulièrement addictive et dont l'enquête Pisa 2012 a montré qu'elle était corrélée à de moins bons résultats scolaires.

Enfin, le stéréotype voulant que les garçons soient moins bons en lecture finirait par entraver les performances de ces derniers dans ce domaine, à la manière d'une prophétie autoréalisatrice – un phénomène appelé "menace de stéréotype". C'est ce qu'a démontré, en début d'année, une étude française dans laquelle 80 enfants de 9 ans devaient, en trois minutes, identifier un maximum de mots désignant des animaux à l'intérieur d'un texte. Les chercheurs ont montré que les →

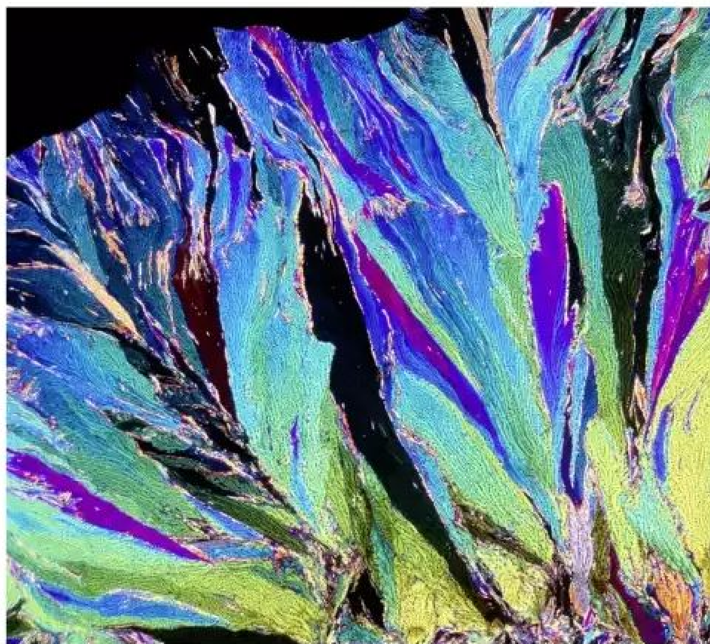
SOURCES : P.PANSU ET AL., JESP 65, 2016 - ENQUÊTE PELLEAS, OFDT-CJC PIERRE-NICOLE, CROIX-ROUGE FRANÇAISE, 2014 - THÈSE DE S.AYRAL, UNIV. BORDEAUX II, 2009

... et peut-être biologiques

De très nombreuses études montrent que les différences biologiques entre filles et garçons ne se résument pas à l'anatomie, mais pourraient aussi s'observer dans le fonctionnement du cerveau. De quoi, peut-être, expliquer en partie la moindre réussite scolaire des garçons.



Les chromosomes sexuels X et Y portent des gènes différents, avec des conséquences potentielles jusque dans les neurones.



garçons étaient moins performants que les filles quand l'exercice était présenté comme un test de lecture, alors qu'ils étaient de niveau équivalent quand ce même exercice était affiché comme un jeu. Cet effet était particulièrement marqué chez les garçons accordant beaucoup d'importance à la lecture, raison pour laquelle les auteurs excluaient la motivation comme explication de ces différences.

"Les enfants sont exposés très tôt aux stéréotypes, justifie Isabelle Régner, coauteur de l'étude, *et ces derniers peuvent remonter à la surface pendant les tests, même de manière inconsciente, au point d'entraver la concentration et diminuer la mémoire de travail."*

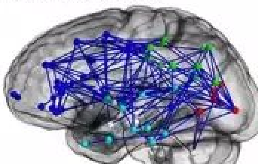
Certes, les garçons bénéficient aussi de nombreux biais favorables à leur apprentissage : plusieurs études ont par exemple montré qu'en France, les enseignants leur accordent plus de temps de parole (environ 56 %, contre 44 % pour les filles) et leur posent des questions plus ouvertes. Mais au total, le mode d'éducation des garçons, et les attitudes différenciées que développent les adultes face à eux, constituent un obstacle à leur réussite scolaire.

PAS LE MÊME CERVEAU

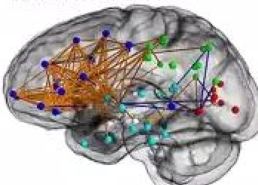
Ces différences d'attitudes et de modes de vie sont-elles uniquement l'expression de stéréotypes ? Et les résultats scolaires des garçons la conséquence de constructions sociales ?

Beaucoup de sociologues réfutent l'idée d'une influence biologique sur les écarts de réussite scolaire entre les sexes, ou alors la prédisent minime. Et rappellent, pour preuve, que ces différences sont très variables d'un pays à l'autre. Par exemple, dans plusieurs pays, contrairement à la France, les variations de niveau aux derniers tests Pisa selon les sexes ne sont pas significatives.

CERVEAU MASCULIN



CERVEAU FÉMININ



Femmes et hommes ne développeraient pas les mêmes connexions fonctionnelles entre aires cérébrales.

Cependant, la tendance reste toujours en faveur des filles, hormis au Liechtenstein. Qui plus est, une étude publiée en 2007 par Pierre Caspard, historien de l'éducation, suggère que les meilleures performances scolaires des filles se constatent depuis le XVIIIe siècle ! *"Il existait déjà des écoles élémentaires mixtes, et on y retrouvait une supériorité des filles du même ordre de grandeur qu'aujourd'hui dans tout ce qui touche au maniement de la langue, par exemple en orthographe",* affirme l'historien, qui conclut à l'existence de *"quelques facteurs échappant au social"*.

M.CUGNOT/DIVERGENCE - S.MOULDS/SPL/COSMOS - POWER AND SYRED/SPL/COSMOS - NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES/PA WIRE





Des études suggèrent que la testostérone, hormone mâle (ici en cristallographie), pourrait favoriser les comportements impulsifs ou agités.

Un sentiment partagé par de nombreux biologistes, qui rappellent que filles et garçons ne possèdent pas les mêmes chromosomes sexuels, et ne sont pas exposés aux mêmes hormones durant le développement fœtal puis à partir de la puberté. Ce qui produit quelques différences dans l'anatomie, mais aussi dans le fonctionnement du cerveau. Or, plusieurs études suggèrent que cela aurait des conséquences sur les comportements différenciés des filles et des garçons. Certains travaux ont par exemple mis en évidence un comportement plus agité chez les filles qui ont été exposées à un excès de testostérone durant leur développement fœtal.

Des chercheurs de l'Institut national américain de la santé mentale ont quant à eux démontré en 2010, sur la base d'IRM passées par 284 individus âgés de 9 à 22 ans, que certaines zones du cerveau des adolescents ne "mûrissent" pas à la même vitesse chez les filles et les garçons. En particulier, des zones cérébrales impliquées dans le contrôle de soi, la planification et la prise de décision, comme le cortex cingulaire antérieur, sont chez les garçons les dernières, durant le développement, à atteindre une épaisseur proche de celles des filles.

Une étude slovaque, enfin, a récemment montré que la testostérone pouvait être impliquée dans certaines formes d'hyperactivité qui touchent quatre fois plus les garçons.

DES SOLUTIONS EXISTENT

Quelques chercheurs émettent même l'hypothèse qu'il pourrait y avoir des différences naturelles entre les capacités cognitives des filles et celles des garçons. Ils se fondent pour cela notamment sur des études montrant que les filles acquièrent le langage plus rapidement durant la petite enfance. Mais de nombreuses autres preuves seraient nécessaires pour appuyer cette idée.

Quoi qu'il en soit, *"il ne faudrait pas s'appuyer sur les explications biologiques pour faire de l'échec scolaire des garçons une fatalité"*, s'inquiète Stéphane Clerget. En effet, *"les différences entre les sexes à l'école sont le résultat d'interactions complexes entre la biologie et la société"*, insiste Diane Halpern, psychologue spécialisée dans les questions d'éducation et de différences cognitives entre les sexes.

Une affirmation confirmée par les résultats des tests Pisa: si les garçons les réussissent presque toujours moins bien que les filles, le pourcentage de ceux qui obtiennent de mauvais résultats dans toutes les matières testées varie de 50 % au Qatar… à moins de 2 % en Chine.

Des solutions permettant de mettre fin à ces inégalités existent donc, et plusieurs sont actuellement discutées par les experts. Certaines sont très polémiques, comme séparer les sexes pour certains cours, afin d'adapter l'enseignement aux besoins qui peuvent s'exprimer plus ou →

Des filières "réservées" aux garçons, d'autres aux filles

Au baccalauréat professionnel, les candidats des filières de la production sont à 86 % des garçons, ceux des filières "services" à 70 % des filles; à l'université, les sciences fondamentales accueillent 75 % de garçons, alors qu'ils ne sont que 26 % en langues; le droit et les sciences politiques sont étudiés aux deux tiers par les filles, et le sport à 71 % par les garçons.

Question de nature? Rien ne l'indique. Au contraire, la situation varie fortement en fonction des cultures. Ainsi, dans plusieurs pays asiatiques et arabes, les filières scientifiques accueillent une majorité de femmes. Mais dans les pays occidentaux, *"la physique et les mathématiques, qui sont des exercices intellectuels froids et abstraits, sont plus proches d'un modèle viril"*, affirme la sociologue Marie Duru-Bellat. Ce qui rejaillit sur les préférences des jeunes, mais aussi sur les recommandations des parents, des enseignants, etc.

Les filles, enfin, sont sous-représentées dans certaines filières de prestige. Elles ne représentent que 42 % des élèves toutes classes préparatoires aux grandes écoles confondues (29 % pour les scientifiques; 74 % dans les littéraires), 39 % de ceux des écoles normales supérieures et 27 % dans les formations d'ingénieurs. Une inégalité qui s'expliquerait notamment par leur manque de confiance en mathématiques (lire l'encadré p. 34). Elles représentent cependant 65 % des docteurs en médecine, 80 % des diplômés de l'Ecole nationale de la magistrature, 60 % des élèves des grandes écoles littéraires (journalisme…) et 57 % des apprentis architectes.



moins dans chaque groupe (par exemple, ralentir l'enseignement de la lecture avec les garçons). Voire, paradoxalement, pour permettre aux élèves de se libérer du poids des stéréotypes : des études suggèrent en effet que, en l'absence du sexe opposé auquel se comparer et être comparé, filles et garçons obtiendraient des résultats scolaires plus similaires.

Une proposition au moins aussi controversée consiste à masculiniser le personnel scolaire, et en particulier enseignant, tandis que d'autres invitent à stimuler l'intérêt des garçons, par exemple en leur faisant étudier, en classe de français, des textes plus à leur goût, aux dépens des romans.

Au ministère de l'Education nationale, on affirme privilégier une amélioration globale des méthodes d'enseignement plutôt que des solutions spécifiquement destinées au sexe masculin, *"afin que cela profite aux filles, aux garçons, et aux enfants de tous les milieux sociaux"*, justifie Florence Robine. Il est vrai que si les inégalités scolaires entre sexes sont importantes, celles entre milieux sociaux le sont encore plus : *"Les fils de cadres réussissent mieux que les filles d'ouvriers"*, résume Marie Duru-Bellat. Cependant, faire tomber les entraves à la réussite des garçons pourrait aussi aider à atténuer ces inégalités sociales, car ce sont justement ceux venant de milieux pauvres et de populations issues de l'immigration qui pâtissent le plus, à l'école, d'être nés avec un chromosome Y.

UN SUJET ENCORE TABOU ?

En 2013, une solution spécifique aux inégalités entre sexes a quand même été testée : la déconstruction des stéréotypes de genre. C'est ce que visaient les célèbres "ABCD de l'égalité", qui ont suscité la polémique et un mouvement de retrait des écoles par des parents inquiets de voir leurs enfants apprendre une mystérieuse "théorie du genre" (lire l'encadré). Cependant, *"ces interventions se concentraient sur les stéréotypes qui touchent les filles"*, regrette Jean-Louis Auduc, ancien directeur adjoint de l'IUFM de Créteil et auteur de *Ecole : la fracture sexuée* (Fabert, 2016).

Parler des problèmes des hommes serait-il donc tabou, dans un contexte où les femmes sont encore victimes de très nombreuses injustices ? Cela détourne en tout cas l'attention des moindres performances des filles en mathématiques, et de leurs choix restreints d'orientation dans les études supérieures (lire les encadrés p. 34 et p. 37), qui ont longtemps été l'objet quasi exclusif des recherches françaises sur les inégalités de genre à l'école.

Mais l'échec scolaire des garçons n'est pas un service rendu aux femmes : *"Les garçons qui se sentent en échec s'accrochent à des stéréotypes archaïques ; ils compensent avec une domination par la force. Cela accentue le machisme"*, avance Stéphane Clerget.

Et il aggrave certaines inégalités dont sont déjà très fortement victimes les hommes : si ces derniers représentent 60 % des illettrés en France, ils constituent aussi plus de 96 % des détenus, représentent les trois quarts des décès par suicide, et ont une espérance de vie de six ans inférieure à celle des femmes. Or, *"les jeunes peu performants en compréhension de l'écrit et peu engagés à l'école courent plus de risques [...] de souffrir de problèmes de santé et de troubles mentaux"*, souligne un rapport publié en 2011 par l'OCDE, qui mentionne également une probabilité plus grande de *"tomber dans la criminalité"*. Ce que Stéphane Clerget explique en rappelant que *"l'échec scolaire touche à l'estime de soi et favorise donc les conduites dépressives et agressives"*.

Ainsi, *"dans le système de domination masculine, les hommes aussi paient un prix"*, conclut Daniel Welzer-Lang, sociologue spécialisé dans la question de l'identité masculine. Or, des injustices opposées ne s'annulent pas. Elles s'additionnent, tout simplement.

Vous avez dit "théorie du genre" ?

A la rentrée 2013 étaient testés en France les "ABCD de l'égalité" : un programme scolaire visant notamment à déconstruire les stéréotypes de genre, selon ses promoteurs ; un endoctrinement des enfants à la "théorie du genre", selon ses opposants. Sauf qu'une telle théorie du genre n'existe pas. Les "études de genre", oui. Ce terme peut désigner des études de sciences sociales à caractère féministe, qui ont émergé dans les années 1970 aux Etats-Unis, et qui sont parfois accusées de nier, pour des raisons idéologiques, les différences naturelles entre les sexes. Mais il désigne aussi, aujourd'hui, toutes les études de sciences sociales (psychologie, sociologie, anthropologie...) qui ont pour objet les caractères et les rôles différenciés attribués par la société aux femmes et aux hommes. Les résultats de ces études, complétés par les enseignements de la biologie sur les différences naturelles entre les sexes, permettent effectivement de déconstruire les stéréotypes de genre.

M.CUGNOT/DIVERGENCE



BABAK TAFRESHI, COLIN ANDERSON/GETTY IMAGES

OBJECTIF ALPHA DU CENTAURE !

À LA UNE

Sortir de notre système solaire ? Visiter d'autres mondes que le nôtre ? Vu les distances, cela semblait mission impossible. Plus maintenant ! Car un projet a trouvé la solution : propulser par laser un minuscule vaisseau pesant moins d'un gramme et pas plus gros qu'une puce ! De quoi rallier à toute allure le système stellaire le plus proche de nous : Alpha du Centaure, situé à 4 années-lumière. Une odyssée qui ne durerait que 21 années, pour aller explorer un monde composé de trois étoiles, autour desquelles gravitent peut-être des planètes… Surtout, voilà qui relance de façon fabuleuse la conquête spatiale. Le XXIe siècle a peut-être trouvé sa mission Apollo. Le rêve peut continuer.

PAR MATHILDE FONTEZ
AVEC CLÉMENT PLANTUREUX

Dix ans de recherche et développement; dix ans de construction; vingt et un ans de voyage; quatre ans de transfert de données. Si tout se passe bien, en 2057, une sonde humaine pénétrera pour la première fois dans un autre système solaire; et en 2061, les premières images feront la une des journaux terrestres. Autant dire demain! Si tout se passe bien…

Les milliers d'exoplanètes découvertes par le télescope spatial *Kepler* ces dernières années sont à des dizaines, voire des centaines d'années-lumière de la Terre. On les détecte, mais on ne les verra jamais. Quant à les visiter… Tout au plus les astronomes espèrent-ils pouvoir deviner leur géophysique et leur climat à distance, en exploitant au mieux les infimes données dont ils disposent.

Mais le système solaire a un voisin. Il y a un monde, juste là, tout près, à la fois différent et semblable au nôtre. Son nom: Alpha du Centaure. *"Nous avons une chance énorme*, remarque Philippe Thébault, astrophysicien à l'Observatoire de Paris. *La probabilité que notre étoile voisine soit de type solaire était quasiment nulle. Or nous en avons deux, juste à côté de nous!"*

Deux soleils, accompagnés d'une petite naine rouge… Trois étoiles. Et peut-être des planètes… Et peut-être de la vie (voir l'infographie pp. 44-45). A "seulement" 4 années-lumière de la Terre – soit tout de même 270000 fois la distance qui nous sépare du Soleil. Un autre monde à notre portée? Et la possibilité, enfin, de le visiter "pour de vrai"?

C'est le pari que vient de faire le milliardaire russe Iouri Milner. Il a choisi le 12 avril, date anniversaire du premier vol humain dans l'espace, effectué en 1961 par Iouri Gagarine – dont il porte le prénom, cela ne s'invente pas –, pour annoncer la nouvelle: il met 100 millions de dollars (près de 88 millions d'euros) sur la table pour construire une sonde qui serait capable d'atteindre Alpha du Centaure.

UN VAISSEAU DE LA TAILLE D'UNE PUCE

Lors de l'annonce, rien ne manquait: ni le célèbre astrophysicien Stephen Hawking, pour la caution scientifique; ni les images de synthèse, pour rendre les idées joliment concrètes; ni le parterre de journalistes spécialisés et un nom inspirant, "Breakthrough Starshot" (traduit approximativement par "Percée vers les étoiles"), pour l'écho médiatique. Une opération de communication efficace, dans la plus pure tradition de la Silicon Valley.

De quoi être sceptique? Pas vraiment, car il ne s'agit pas ici de lever des fonds. Les 100 millions sont déjà là. Ils n'attendent plus que d'être dépensés. Ensuite parce que l'équipe de scientifiques réunie sur le projet n'a rien d'une bande d'originaux. Beaucoup travaillent dans les plus prestigieux laboratoires, comme Avi Loeb, astrophysicien à Harvard, ou Pete Worden, qui était jusqu'en 2015 à la tête de l'Ames Research Center de la Nasa.

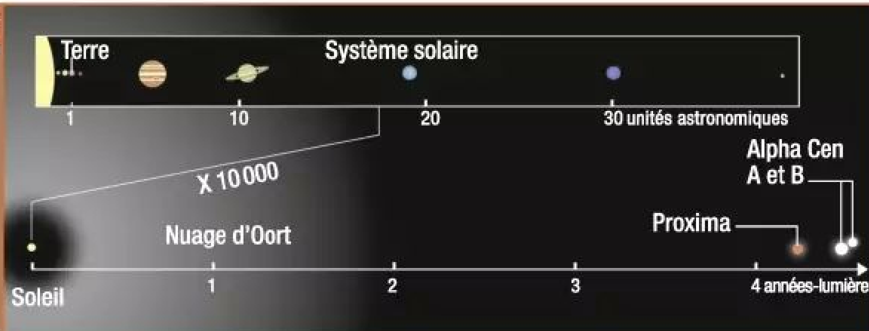
Enfin, tout simplement, parce que l'idée paraît bonne. Bien loin des projets fantastiques de gigantesques vaisseaux spatiaux carburant à la fusion nucléaire ou à l'antimatière, avec lesquels les auteurs de science-fiction – et quelques bataillons d'ingénieurs passionnés – rêvent d'explorer l'Univers, Breakthrough Starshot mise sur… la navigation à voile.



Iouri Milner et ses collaborateurs se sont inspirés des travaux menés dans les années 1960 par Robert Forward. Le physicien américain imaginait alors un véhicule de milliers de tonnes, drapé dans une voile de 1000 km d'envergure, qui partirait à l'assaut des étoiles lointaines en réfléchissant les photons envoyés par une gigantesque centrale

Repères

Situé à 4,37 années-lumière (al) de la Terre, le système Alpha du Centaure est composé de trois astres : deux étoiles de type solaire, Alpha Cen A et B, très proches l'une de l'autre, et une naine rouge, Proxima, qui gravite loin de ses compagnes (à "seulement" 4,22 al de nous).



GARY GERSHOFF/WIREIMAGE/GETTY IMAGES - ESO/DSS2/D. DE MARTIN - B. BOURGEOIS





LE GÉNIAL PROJET D'UN HOMME
Pour rallier Alpha du Centaure, situé à 4 années-lumière, le milliardaire russe Iouri Milner a présenté son projet "Breakthrough Starshot" : soit une microsonde en guise de vaisseau, qu'un laser propulsera au départ et qu'une voile solaire de 4 m alimentera.

laser installée dans l'espace ; le faisceau de cette dernière serait d'une puissance colossale : 75 000 térawatts (milliers de milliards de watts).

Sauf que cette vision est aussi grande – et irréaliste – que celle de Breakthrough Starshot est petite – et, sans aucun doute, bien plus crédible. Les membres de ce nouveau projet parient en effet sur une voile de seulement 4 m de côté et un vaisseau… de moins de 1 g ! Et c'est là le point clé : le changement d'échelle. Le minuscule pour triompher des plus grandes distances !

DÉPASSER MARS EN UNE DEMI-HEURE

"L'idée est de profiter des progrès en nanotechnologies, en microélectronique et en photonique pour concevoir une sonde de la taille d'une puce", précise Philip Lubin, l'un des physiciens ayant travaillé sur le concept à l'université de Santa Barbara. *"Dans cette puce, nous pourrons intégrer des caméras, des propulseurs, des équipements de communication et de navigation, le tout pour le coût d'un smartphone !"*, poursuit Pete Worden.

Nul besoin de construire une gigantesque centrale laser en orbite. Un réseau de lasers sur Terre, d'une puissance de 100 GW, suffirait. D'après les calculs préliminaires de Philip Lubin, un tir de trois minutes pourrait accélérer une telle microsonde jusqu'à 20 % de la vitesse de la lumière, avant de la laisser filer vers l'espace interstellaire. En une demi-heure, elle dépasserait l'orbite de Mars ! Le lendemain de son lancement, elle atteindrait Pluton (que la sonde *New Horizons* vient de mettre près de vingt ans à dépasser)… En vingt ans, elle entrerait dans le système Alpha du Centaure.

Voilà pour le projet. Il se déclinerait à l'infini. *"Une fois construite, la station laser pourrait envoyer de nombreuses microsondes"*, défend Philip Lubin.

Et, aussi futuriste soit-il, il convainc nombre d'observateurs. D'une part, la navigation à voile a déjà fait ses preuves dans le système solaire. Dès 2010, la sonde japonaise *Ikaros* déployait avec succès sa voile de 14 m de côté. Depuis, elle vogue dans l'espace, exploitant la poussée des particules de lumière du Soleil.

D'autre part, la miniaturisation des sondes est déjà en cours… au sein même de la Nasa. C'est même l'une des dernières révolutions dans le spatial : confier les missions non plus à des satellites classiques, de quelques dizaines de tonnes, chers à produire et à lancer, mais à de petits engins de quelques kilos, des CubeSats.

Des dizaines d'entre eux ont déjà été mis en orbite. Et de nombreux autres sont en préparation. C'est par exemple un CubeSat à voile solaire de seulement 12 kg qui effectuera la première mission de reconnaissance du programme d'exploration des astéroïdes de la Nasa en 2018. Un autre déploiera sa voile de 80 m² pour aller se mettre en orbite autour de la Lune…

Naviguer à la voile, réduire la masse et standardiser les processus de →

fabrication pour lancer par dizaines des petits satellites modulaires: voilà la recette des voyages spatiaux du futur. Breakthrough Starshot ne fait que reprendre ce concept et le pousser à son paroxysme. *"Avec ces 100 millions de dollars, je ne doute pas qu'ils vont passer un cap dans la miniaturisation des satellites*, avance David Barnhart, spécialiste en ingénierie spatiale à l'université de Californie du Sud. *Beaucoup des technologies nécessaires sont déjà là. Il faut juste les adapter."*

OBJECTIF: TROUVER DES PLANÈTES

Iouri Milner laisse dix ans à son équipe pour apporter une preuve de concept – autrement dit, démontrer la faisabilité du projet. Dix ans pour s'atteler aux nombreux défis qui jalonnent le voyage: comment émettre un faisceau de 100 GW assez précis pour toucher une voile de 4 m? Comment protéger le microvaisseau des poussières interstellaires? Ces défis, nous en avons compté douze (lire pages suivantes).

Entre-temps, les astrophysiciens devront avoir détecté les cibles précises de l'exploration: les planètes. Car, aussi étrange que cela puisse paraître au regard des milliers d'exoplanètes lointaines découvertes, aucune n'a encore été repérée autour de nos étoiles voisines. Ce n'est pas faute d'avoir essayé. Depuis une dizaine d'années, les plus puissants instruments scrutent ce système stellaire... Mais bien qu'elles soient toutes proches, les étoiles Alpha du Centaure ne sont pas si faciles à observer: *"Elles sont tout simplement trop brillantes et saturent les détecteurs"*, explique Philippe Thébault.

Les astrophysiciens poussent donc les télescopes dans leurs retranchements... au risque de se tromper. En 2012, après avoir recueilli 20000 spectres durant quatre ans d'observations avec le spectrographe Harps, Xavier Dumusque et ses collaborateurs de l'Observatoire de Genève ont annoncé la découverte d'une planète autour d'Alpha du Centaure B. *"Nous avions trouvé un petit*



Alpha du Centaure B: une étoile presque de type solaire
Un peu plus petite et moins lumineuse que le Soleil, cette étoile est une naine orange autour de laquelle pourraient graviter des planètes jusqu'à 2,5 UA. Au-delà, elles seraient éjectées à cause de l'influence gravitationnelle d'Alpha du Centaure A. Les observations ont d'ores et déjà éliminé l'existence de planètes très massives comme Jupiter.

Alpha du Centaure, un système à 3 étoiles qui pourrait être habitable

CARTE D'IDENTITÉ

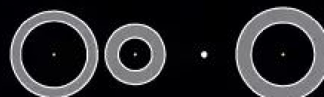
Trois étoiles, dont deux de taille équivalente à celle du Soleil:



Les deux étoiles principales se tournent autour en 80 ans:



Des zones habitables *(en gris)* comparables à celle du système solaire:



ILLUSTRER.FR - M.KONTENTE

Alpha du Centaure C: l'étoile la plus proche de nous

Des trois étoiles, c'est elle qui se situe le plus près du système solaire – d'où son autre nom, Proxima. Cette petite naine rouge est beaucoup moins brillante que le Soleil. Ses planètes potentiellement habitables (qui seraient assez éclairées pour avoir de l'eau liquide à leur surface) devraient donc graviter tout près d'elle, entre 0,04 et 0,08 UA, et seraient soumises à un flot de rayons X 100 fois plus intense que celui reçu par la Terre.

Alpha du Centaure A: une jumelle du Soleil

Cette étoile est une naine jaune, comme notre astre, quoiqu'un peu plus grande. En raison de la présence perturbatrice d'Alpha du Centaure B, elle ne peut abriter de planète au-delà de 2,8 unités astronomiques (UA, 1 UA équivalant à la distance Terre-Soleil). Trop brillante pour les télescopes terrestres, elle a peu été étudiée.

signal qui paraissait être celui d'une planète orbitant autour de l'étoile en 3,2 jours", précise-t-il. Mais les équipes qui ont tenté de confirmer ce signal n'en ont pas retrouvé la trace… Il serait dû en fait à l'activité de l'étoile.

Depuis, une équipe menée par Brice-Olivier Demory, de l'université de Cambridge, a perçu une autre anomalie en observant l'étoile avec le télescope *Hubble*. *"On a travaillé sur différentes hypothèses, et l'explication la plus probable pour nous, c'est une planète"*, estime le chercheur. Mais avec une seule observation, impossible de trancher. Il faudra réobserver…

L'EXPLORATION DEVIENT POSSIBLE

Quant à Proxima, la naine rouge qui accompagne les deux soleils, une grande campagne d'observation vient de s'achever… dont les résultats, encore confidentiels à l'heure où nous écrivons, devraient être publiés dans les semaines à venir. D'autres campagnes sont prévues. Un petit télescope spatial qui serait spécialement dédié à l'observation de Proxima est même à l'étude à la Nasa…

Tandis que les astrophysiciens ont les yeux rivés sur ce monde voisin – *"S'il y a des planètes, d'ici dix ans, on les aura trouvées*, assure Frédéric Thévenin, à l'Observatoire de la Côte d'Azur. *Ce serait quand même navrant s'il n'y en avait pas…"* –, les ingénieurs, eux, planchent sur la microsonde qui partira l'explorer – *"Les expériences vont commencer très bientôt"*, se réjouit Pete Worden.

Alpha du Centaure est dans toutes les têtes. *"Enfin, on arrive au moment où l'on peut envisager d'aller l'explorer"*, sourit Brice-Olivier Demory. Enfin, l'homme a la possibilité de voir de près un exomonde. De le palper. De le sentir. Enfin, une mission promet d'offrir aux Terriens un contrepoint réel aux vues d'artistes qui peuplent leur imaginaire depuis la découverte de la première exoplanète il y a vingt ans. Sans parler d'y découvrir la vie… Le rêve d'un premier voyage interstellaire n'en est plus un ! **M.F.**

B.BOURGEOIS - POWER AND SYRED/SPL/COSMOS

12 DÉFIS POUR RÉALISER L'EXPLOIT

Avant de propulser vers Alpha du Centaure une sonde de moins de 1 g et sa voile solaire de 4 m de côté avec un faisceau laser, il va falloir résoudre un certain nombre de casse-tête : miniaturisation des composants, blindage contre les poussières interstellaires, guidage dans l'espace… Du laboratoire à l'arrivée sur Alpha du Centaure, revue de détail de la toute première mission interstellaire.

APR 2016
SN 05376112580001
NanoTritium™ Battery
Caution - Radioactive Material

Une "puce" spatiale
Pesant 1 gramme et mesurant quelques centimètres de côté, la puce de "Starshot" devra contenir toutes les fonctionnalités d'un vrai vaisseau.

CAMÉRA
GÉNÉRATEUR
GYROSCOPE
MICROPROCESSEUR
MAGNÉTOMÈTRE
DIODE

(ÉCHELLE x2)

DÉFI · 1

METTRE AU POINT LE MICROVAISSEAU

C'est le cœur de la mission. Pourtant, ce n'est pas là que se concentrent les difficultés. Certes, passer d'un vaisseau de plusieurs centaines de kilos comme *New Horizons* à une puce de 1 g n'a rien de trivial, mais les membres de Breakthrough Starshot savent par où commencer. Quelques études pour concevoir des microsatellites ont déjà été menées, plusieurs prototypes conçus… Une équipe menée par Zachary Manchester (université Cornell) a même tenté en 2014 de déployer 104 minisatellites de 5 g en orbite – les puces n'ont pu s'éjecter du vaisseau-mère qui les abritait à cause d'un problème de communication; un second essai devrait avoir lieu en 2017.

"Pour faire une sonde, il faut une alimentation électrique, un processeur, des propulseurs, un système de communication et une charge utile, c'est-à-dire des capteurs", liste le chercheur. Le processeur n'est pas un problème. Les performances et le degré de miniaturisation des ordinateurs actuels suffisent amplement. Les capteurs non plus: des caméras de 2 Mpx pesant moins de 1 g sont déjà disponibles.

Les membres du projet vont se concentrer sur l'alimentation électrique. Dans le noir de l'espace interstellaire, des panneaux solaires ne servent à rien, ou presque. Tout juste envisage-t-on d'enrober la voile d'un film photovoltaïque, comme celle de la sonde japonaise *Ikaros*, pour tirer profit de la lumière des deux étoiles Alpha du Centaure une fois le vaisseau arrivé à destination.

Reste à trouver une source d'énergie pour la phase de croisière. *"La plupart des sondes sont alimentées par un générateur radioactif exploitant la désintégration du plutonium*, explique Zachary Manchester. *Mais c'est un système trop lourd et trop volumineux pour une microsonde."* Les chercheurs songent donc à le remplacer par des cellules bêtavoltaïques: ces générateurs, développés notamment pour alimenter les pacemakers, exploitent directement les électrons produits par la désintégration radioactive du tritium pour charger un semi-conducteur… et font la taille d'un composant électronique.

Restera, enfin, à régler le problème des communications. Ce défi-là aussi est de taille (lire pp. 52-53). **M.F.**

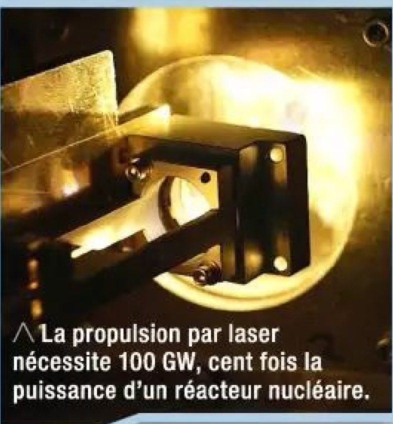

Miniaturiser le processeur ne sera pas un problème: l'informatique a fait d'énormes progrès dans ce domaine.

À LA UNE

Le lancement

DÉFI · 2 CONSTRUIRE UN RÉSEAU DE LASERS DE 100 GW

Le principe de base – exploiter la pression de radiation des particules de lumière émises par un laser pour propulser une voile – a été validé. Le physicien Philip Lubin a déjà mené les premiers tests à petite échelle à l'université de Santa Barbara (Etats-Unis). Mais 100 GW sont nécessaires pour accélérer la microsonde jusqu'à 20 % de la vitesse de la lumière. Ce n'est pas rien – le réacteur d'une centrale nucléaire fournit en moyenne 1 GW.


Λ La propulsion par laser nécessite 100 GW, cent fois la puissance d'un réacteur nucléaire.

SONIA FERNANDEZ - R. CERISOLA - NASA/MSFC - ILLUSTRER.FR

Les membres du projet Breakthrough Starshot pensent s'en sortir avec cette astuce : plutôt que de construire un gros laser, ils combineraient en réseau de nombreux petits lasers. *"Des lasers de l'ordre du kilowatt, on sait faire,* précise Philip Lubin. *Et des expériences ont déjà été menées afin de créer un faisceau unique."* Reste à changer d'échelle en passant d'un réseau de quelques lasers à un millier, répartis sur une surface de 1 km².

Il faudra aussi penser à les alimenter en énergie : l'électricité nécessaire devra être produite sur place, et stockée, afin de pouvoir la libérer au moment du lancement. Philip Lubin travaille également sur la possibilité de recycler les photons des lasers, en les récupérant une fois qu'ils auront été réfléchis par la voile. *"Pour moi, c'est le plus grand défi que nous ayons à surmonter,* analyse le chercheur. *Quand nous aurons construit ce réseau, nous toucherons au but."* M.F.

DÉFI · 3 CORRIGER LES PERTURBATIONS DE L'ATMOSPHÈRE

Le faisceau laser devra rester parfaitement homogène et précis… malgré les turbulences atmosphériques. Les lasers devraient émettre dans l'infrarouge, autour de 1 micromètre, longueur d'onde pour laquelle l'atmosphère est transparente à 90 %. Mais il faudra aussi les doter de dispositifs comparables à ceux des miroirs des

DÉFI · 4 GARANTIR DU LANCEMENT

Lors de l'accélération de la nanosonde, les lasers au sol vont produire un flux d'énergie équivalent à près de 300 fois celui généré par le Soleil sur Terre… La voile sera conçue pour survivre au choc (voir défi n° 5), mais il n'en va pas de même pour les oiseaux, avions ou satellites qui passeraient par hasard dans le faisceau. Les membres du projet Breakthrough


Utilisée sur les télescopes, l'optique adaptative peut s'appliquer ici.

télescopes, dont la surface peut être modifiée pour corriger les effets de l'atmosphère. *"Ce principe est transposable sur des lasers,* réagit Jérôme Paufique, ingénieur à l'Observatoire européen austral. *Je n'y vois pas de difficulté technique."* **C.P.**

LA SÉCURITÉ LORS

Starshot ont déjà prévu des alternatives: *"Nous pensons utiliser des radars qui commanderaient un arrêt automatique du réseau de lasers",* précise Pete Klupar, ingénieur en chef de la mission. Plusieurs télescopes au sol pourraient aussi être mobilisés pour repérer les débris spatiaux susceptibles de gêner la transmission jusqu'à la voile du microvaisseau. **C.P.**

DÉFI · 5

CONSTRUIRE UNE VOILE PARFAITEMENT RÉFLÉCHISSANTE

Le calcul est vite fait: vu la puissance du faisceau laser, si la voile absorbe ne serait-ce que 10 millièmes de l'énergie qu'elle reçoit, elle sera soumise à l'équivalent de 60 fois l'illumination de la Terre... Autant dire qu'elle brûlera. Les membres du projet Breakthrough Starshot doivent donc concevoir un miroir parfait. *"De fins films plastique métallisés avec un enrobage multicouche de matériau diélectrique atteignent de très grandes réflectivités: de l'ordre de 99,995% de la lumière reçue,* réagit Les Johnson, spécialiste du sujet à la Nasa. *Le principal problème est la masse."*

Ainsi, une voile de 1 micromètre d'épaisseur pèserait aujourd'hui 600 g. C'est léger. Mais c'est 100 fois trop lourd pour ce projet. Il faudrait réduire encore l'épaisseur de la voile... *"Sauf que l'épaisseur d'un matériau diélectrique doit atteindre au moins le quart de la longueur d'onde du faisceau émis,* précise Philip Lubin. *On regarde du côté des matériaux nanostructurés..."*

La forme de la voile devra, elle aussi, lui permettre de résister durant la phase d'accélération. L'une des idées ici consiste à utiliser l'effet centrifuge pour garder la voile sous tension... en la faisant tourner sur elle-même. **M.F.**



La Nasa teste de nombreuses voiles solaires (ici, une voile de 20 m de côté).

À LA UNE

Le voyage

DÉFI · 6 TRAVERSER LE SYSTÈME SOLAIRE EN ÉVITANT LES COLLISIONS

Outre ses huit planètes, ses astéroïdes et ses comètes, le milieu interplanétaire est loin d'être vide : il est jonché de particules de poussières. Certes, il y en a peu, et elles sont petites. Mais à très haute vitesse, le moindre impact peut avoir des conséquences désastreuses. *"En 1986, la sonde* Giotto *a percuté de la poussière cométaire,* évoque ainsi Francis Rocard, astrophysicien au CNES. *Résultat, la sonde s'est mise à faire la toupie et l'ESA a eu beaucoup de difficulté à la récupérer !"*

Un alliage de cuivre et de béryllium est à l'étude, qui enrobera la structure de la microsonde. Mais ce ne sera sans doute pas suffisant. *"La sonde subira environ un million d'impacts de grains de l'ordre du micromètre par centimètre carré sur la totalité du voyage,* évalue Bruce Draine, astrophysicien à l'université de Princeton. *Et, malgré le blindage, ils pourraient pénétrer la structure jusqu'à 0,5 mm de profondeur !"* Les ingénieurs du projet envisagent donc de doter la voile d'une structure rigide mobile qui permettrait de la replier comme un parapluie, afin de réduire la surface du vaisseau, et donc ses possibilités de collision. Au risque de complexifier le design de la voile, de coûter cher en énergie, et de rendre les communications avec la Terre plus compliquées… **C.P.**



Au-delà de l'orbite de Mars, les poussières solaires se densifient.

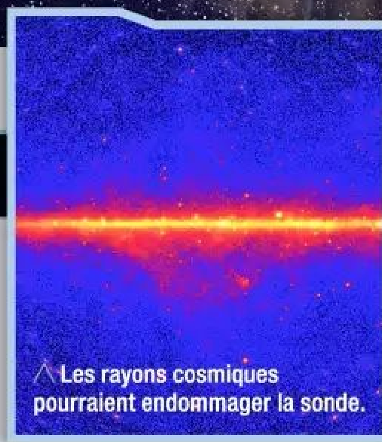
DÉFI · 7 GARDER LE BON CAP

"Lorsque la sonde traversera les champs magnétiques interstellaires, elle subira la force de Lorentz, qui la fera dévier de sa trajectoire", indique Bruce Draine. Pour parer à une éventuelle sortie de route, les membres du projet Breakthrough Starshot ont prévu de doter la sonde de deux minuscules réacteurs qui l'aideront à maintenir le cap. *"Ils seront alimentés par une source radioactive d'américium* [se dégradant en plutonium], *ce qui leur permettra de modifier la trajectoire de 1 à 2 unités astronomiques"*, précise Pete Klupar, ingénieur en chef de la mission. De simples diodes pourraient aussi constituer une alternative pour procéder à de légers ajustements, notamment lorsque la sonde arrivera à proximité du système Alpha du Centaure. **C.P.**

NASA/GSFC/M.KUCHNER/C.STARK - NASA/DOE/FERMI LAT COLLABORATION - ILLUSTRER.FR

DÉFI · 8 AFFRONTER LES INCONNUES DU MILIEU INTERSTELLAIRE

Difficile d'anticiper tous les risques, car jusqu'à présent seule la sonde *Voyager 1* s'est aventurée aussi loin. Et si, d'après Merav Opher, de l'université de Boston, *"elle continue d'évoluer sans problème"*, les quelques analyses communiquées ne suffisent pas pour appréhender le milieu interstellaire. Reste les informations fournies par les télescopes. Il faudra notamment se méfier des rayons cosmiques: ces pluies de noyaux atomiques et de particules de haute énergie pourraient s'infiltrer dans les circuits électroniques de la sonde, les endommager ou provoquer des erreurs de calcul. La solution classique est de blinder la sonde (au risque de l'alourdir). *"Des matériaux tels que le béryllium et le graphite pourraient protéger les parties sensibles, comme les systèmes électroniques, la caméra…*, indique Bruce Draine. *Cela dit, les dégâts seront moindres que ceux provoqués par les particules de poussières"*, ajoute-t-il. Certes, le milieu interstellaire est plus vide que le milieu interplanétaire, mais le risque de collisions demeure. **C.P.**


Les rayons cosmiques pourraient endommager la sonde.

DÉFI · 9 GARANTIR LA FONCTIONNALITÉ DES INSTRUMENTS PENDANT DES DÉCENNIES

Tous les problèmes que pourrait rencontrer la sonde jusqu'à destination sont envisagés: impacts de poussières, champs magnétiques puissants, radiations cosmiques… *"Mais l'environnement jusqu'à Alpha du Centaure est stable!* tempère Pete Klupar. *Il fait très froid, environ −270 °C. Nous savons cependant développer des instruments capables de supporter ces températures."* Des matériaux, comme l'arséniure de gallium, vont être testés pour éviter à la sonde un coup de froid. A rappeler que les sondes *Voyager 1* et *2*, lancées en 1977 et qui voyagent actuellement au seuil du milieu interstellaire, sont toujours opérationnelles après trente-neuf ans de bons et loyaux services! *"Nous sommes confiants dans le fait que l'ensemble des instruments fonctionnera tout au long de la mission"*, conclut Pete Klupar. **C.P.**

À LA UNE

L'arrivée



DÉFI · 10 REPÉRER DES PLANÈTES

Comment faire des images nettes lorsqu'on file à 1 million de km/h ? C'est toute la question. *"La caméra aura besoin de se tourner vers la cible et de la garder dans son objectif durant la prise de vue, ce qui n'a rien d'anodin étant donné la vitesse de la sonde*, précise Mason Peck, qui participe au projet à l'université Cornell. *Nous avons calculé qu'elle parcourra une unité astronomique* [distance entre la Terre et le Soleil, soit environ 150 millions de kilomètres] *en quarante minutes. Il lui faudra pivoter à cette vitesse."*

Les membres de la mission imaginent ainsi doter leur vaisseau de micropropulseurs photoniques (des diodes laser ou des LED), pour l'orienter au fur et à mesure de la prise de vue.

Mais encore faudra-t-il… trouver les planètes. L'équipe planche sur des logiciels de reconnaissance d'images capables de détecter, par exemple, la lumière réfléchie par une planète et de commander le mouvement de la sonde. *"Cela paraît être la meilleure solution*, confirme Thomas Fuchs, spécialiste du sujet à l'institut Caltech. *Nous y travaillons déjà pour l'exploration des petits corps du système solaire. Certains des algorithmes de détection que nous avons développés pourraient être adaptés à ce cas particulier."* **M.F.**

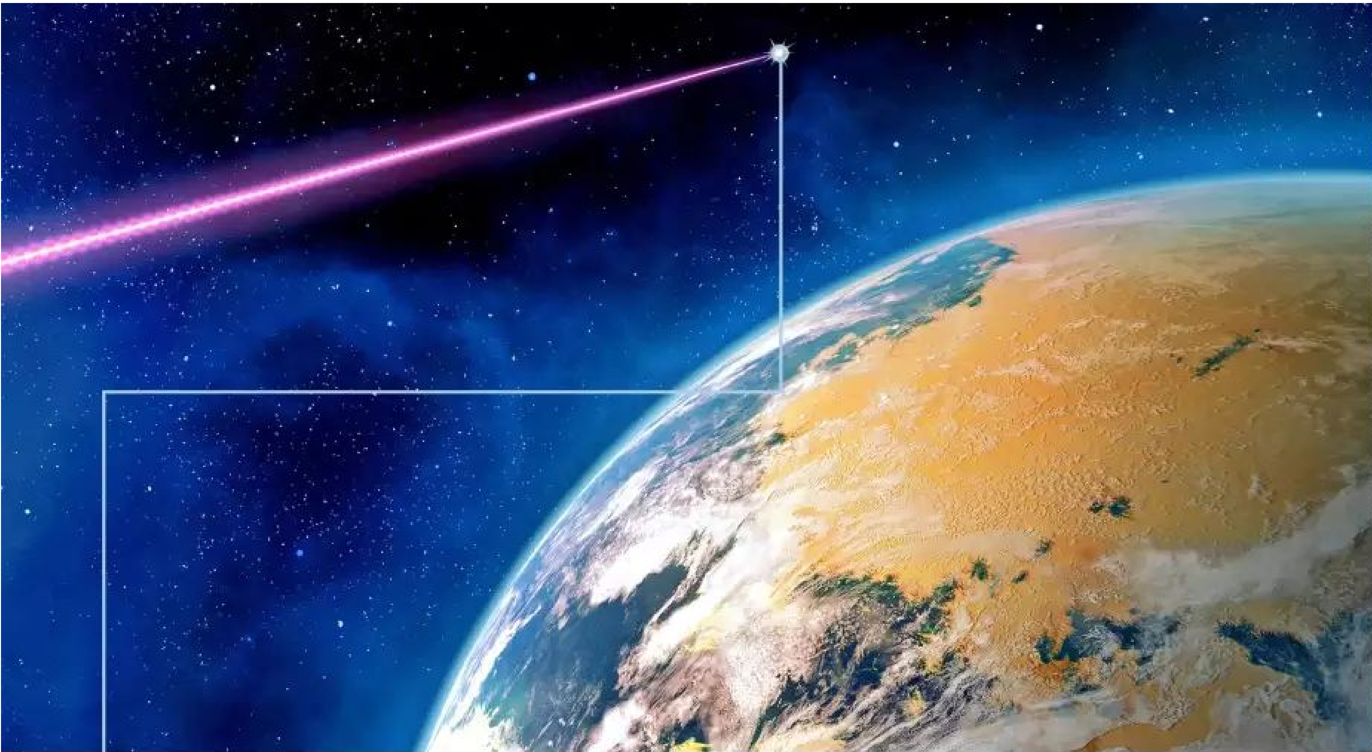


Sans un bon algorithme de détection, la sonde risque de rater sa cible (ici des clichés de l'astéroïde Mathilde pris par la sonde *Near* en 1997).

La voile devrait avoir la structure d'une lentille de Fresnel, ce qui aidera à focaliser le signal.

DÉFI · 11 PARVENIR

Pour la plupart des membres de Breakthrough Starshot et des spécialistes, c'est l'un des vrais points noirs de la mission. Comment transmettre des données sur une distance de 4 années-lumière avec une puissance de l'ordre du watt ? *"Déjà, en orbite basse, nous avons rencontré des difficultés"*, rappelle Zachary Manchester, qui travaille sur des microsatellites à l'université Cornell.



DÉFI · 12

RÉCEPTIONNER LES DONNÉES ÉMISES PAR LE VAISSEAU

"Le réseau de lasers utilisé lors du lancement de la sonde pourra aussi servir de télescope pour réceptionner les données !", assure Philip Lubin, l'un des membres du projet. Il fonctionnera ainsi comme un réseau d'antennes, formant l'équivalent d'un télescope de 1 km^2… ce qui tombe bien, puisque justement, le faisceau de données provenant d'Alpha du Centaure devrait s'étendre sur 1 km.

Quelques ajustements seront néanmoins nécessaires : il faudra désactiver les amplificateurs qui déclenchent le faisceau laser et ajouter des capteurs. Pour ces derniers, deux options sont à l'étude : une photodiode à avalanche comme celles qui sont utilisées en physique des particules, ou un capteur supraconducteur semblable à celui qui a été utilisé en 2013 par le Jet Propulsion Laboratory (Nasa/Caltech) pour réceptionner les données laser envoyées depuis la Lune dans le cadre de la mission Ladee.

"Cette expérience est un premier essai de communication longue distance par laser, précise le chercheur. *Une première preuve de concept."* Mais il faudra cependant que le capteur gagne en sensibilité… Après un tel voyage, il ne restera que quelques photons pour porter les précieuses données. **M.F.**

À LA UNE

À COMMUNIQUER AVEC LA TERRE

Première idée : au lieu des classiques communications radio, les membres de la mission pensent transmettre les données par laser, sous la forme d'impulsions. *"Les ondes radio sont trop divergentes pour qu'on puisse espérer capter un tel signal à 4 années-lumière de distance"*, précise le chercheur.

Ensuite, pour focaliser et amplifier le signal, ils envisagent d'utiliser… la voile. *"Nous nous en servirons comme d'un miroir et d'une lentille de Fresnel"*, précise Philip Lubin, qui participe au projet à l'université de Santa Barbara. Ce type de lentille structurée par des anneaux concentriques est couramment utilisé sur Terre (pour focaliser la lumière des phares, notamment). *"Cela nous permettra de multiplier par 100 le débit des données – on pourrait atteindre 37 kbit/s pour une puissance de 1 W. Et de juguler la diffraction du faisceau"*, évalue le chercheur.

A l'arrivée sur Terre, le faisceau ne ferait ainsi "que" 1 km de diamètre. Mais pour cela, il faudra modifier la structure de la voile afin qu'elle forme ces anneaux concentriques… tout en gardant sa légèreté. *"Un défi formidable !"*, conclut Philip Lubin. **M.F.**

ILLUSTRER.FR - NASA/JHUAPL - ALMAZI

UNE OCCASION DE REJOUER APOLLO ?

Si le projet d'envoyer un vaisseau sur Alpha du Centaure suscite l'enthousiasme, c'est qu'il relance une conquête spatiale en panne de grands défis. Avec le voyage interstellaire, le XXIe siècle a peut-être trouvé sa mission.

"Nous avons choisi d'aller sur la Lune. Nous avons choisi d'aller sur la Lune au cours de cette décennie et d'accomplir d'autres choses encore, non pas parce que c'est facile, mais justement parce que c'est difficile. Parce que cet objectif servira à organiser et à offrir le meilleur de notre énergie et de notre savoir-faire, parce que c'est le défi que nous sommes prêts à relever, celui que nous refusons de remettre à plus tard, celui que nous avons la ferme intention de remporter." Le discours fondateur de la conquête spatiale des Etats-Unis, prononcé en 1962 par John F. Kennedy, continue de retentir aujourd'hui.

Depuis ses premiers pas sur la Lune, l'homme a exploré une à une toutes les planètes. Le plus lointain des mondes du système solaire, Pluton, a été atteint il y a un an par la mission New Horizons. Des sondes spatiales ont plongé dans les gaz de Jupiter ; frôlé les anneaux de Saturne ; percé les nuages de Vénus ; touché les astéroïdes ; prélevé des poussières de comètes… Des rovers ont exploré Mars. La vaillante sonde *Voyager 1*, qui a quitté la Terre en 1977, a même franchi la première limite de notre coin de galaxie, sortant vivante du système solaire en 2012. Elle continue d'envoyer au compte-gouttes de précieuses données sur le monde qui s'étend au-delà, l'espace interstellaire.

Et après ? Quelle est la nouvelle frontière ? Vers quelle destination l'humanité va-t-elle – peut-elle – tourner son regard ? Le fantastique voyage proposé par le milliardaire Iouri Milner et son équipe (lire pages précédentes) a tout pour relancer le rêve. Voire devenir la grande mission du XXIe siècle. Avec Alpha du Centaure, l'étoile mythique, comme eldorado…

Une fois menées les études de faisabilité et dépensés les 100 millions de dollars de l'investisseur russe, les membres du projet estiment qu'il faudra entre 5 et 10 milliards de dollars pour accomplir la mission. Un budget conséquent, mais pas non plus délirant (la mission Cassini, par exemple, a nécessité 3,3 milliards de dollars). Mais pour l'instant, et c'est peu de le dire, le projet n'est pas au programme des agences spatiales.

Car la Nasa (qui continue de représenter 75 % des activités spatiales dans le monde, avec un budget annuel de 18,5 milliards de dollars) a changé depuis les années 1960. De destination, elle ne veut plus.

C'était patent depuis la fin des missions Apollo. C'est devenu explicite en 2009, avec l'arrivée au pouvoir de Barack Obama. A peine avait-il prêté serment qu'il faisait sienne cette principale conclusion du rapport de la commission présidée par l'ancien directeur de Lockheed Martin, Norman Augustine, pointant le sous-financement chronique du programme d'exploration habitée de la Nasa : *"Les destinations découlent des objectifs"*, et non l'inverse.

Le budget de la Nasa est gelé, ou presque. Le programme Constellation, qui devait envoyer de nouveau des astronautes sur la Lune, a été annulé. Et si une mission habitée vers Mars est toujours au programme, elle a été reléguée à un horizon lointain, dépendant des avancées en matière de propulsion…

UN CAP DANS L'HISTOIRE SPATIALE

"Jusqu'à très récemment, ces temps héroïques de la découverte de l'espace faisaient encore référence. L'attrait politique supposé des Américains pour l'espace a pu être perçu comme une exception culturelle des Etats-Unis, dont le programme d'exploration de la Lune, Apollo, aurait été l'exemple phare", analyse dans l'une de ses publications Xavier Pasco, coordonnateur du pôle Espace, haute technologie et sécurité à la Fondation pour la recherche stratégique. Qui poursuit : *"Si la politique*

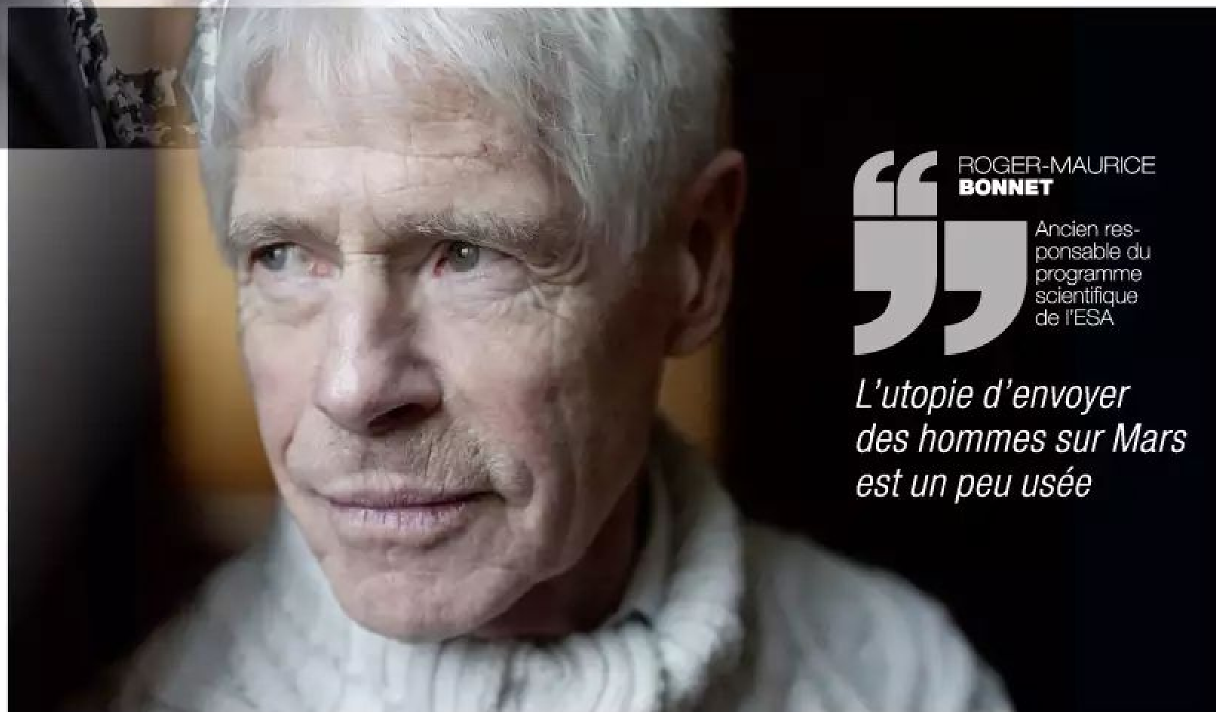
KELVIN MA - DIDIER GOUPY / SIGNATURES



MERAV **OPHER**

Membre de la mission Voyager à l'université de Boston

Nous avons désespérément besoin de grands projets comme celui-là



ROGER-MAURICE **BONNET**

Ancien responsable du programme scientifique de l'ESA

L'utopie d'envoyer des hommes sur Mars est un peu usée

À LA UNE

spatiale américaine invoque toujours les mêmes objectifs de puissance, elle fait appel à d'autres moyens et à de nouvelles stratégies. On est à l'heure de l'efficacité politique et budgétaire." Ainsi, selon le chercheur, *"la présidence Obama paraît avoir tourné une page de l'histoire politique spatiale des Etats-Unis. En particulier, malgré le poids des symboles et des intérêts liés à l'exploration humaine de l'espace, l'idée d'un renouvellement en profondeur du débat sur les vols habités ne semble plus taboue, désormais, aux Etats-Unis".*

L'heure n'est donc plus à imaginer de grands programmes s'inscrivant dans le long terme. L'exploration humaine de Mars s'impose mollement comme l'objectif non seulement de la Nasa, mais aussi de l'Agence spatiale européenne (ESA). Et la communauté scientifique ne peut que regretter cette absence de vision claire et le manque d'intérêt scientifique d'une mission habitée vers Mars.

"La détermination à découvrir ou à résoudre des problèmes physiques, l'enthousiasme des scientifiques, leurs utopies sont le moteur nécessaire au démarrage d'un projet, pointe Roger-Maurice Bonnet, ancien responsable du programme scientifique de l'ESA. *Et ce, même s'il y a un énorme fossé entre ces utopies et la réalité des contraintes programmatiques des laboratoires et des agences…"* Un peu désabusé, il conclut : *"Aujourd'hui, il y a un problème d'utopie et de réalisation d'utopie. Dans les conférences que je faisais il y a trente ans, je disais qu'on pourrait aller sur Mars… dans trente ans ! L'utopie d'envoyer des hommes sur Mars est un peu usée."*

A défaut d'un eldorado, les chercheurs se replient sur une thématique: la vie. *"Le XXe siècle a été celui de l'astronautique et de la planétologie. Le XXIe siècle sera celui de l'électronique et de la recherche de la vie",* prédit Merav Opher, astrophysicienne et membre de la mission Voyager à l'université de Boston.

La sempiternelle liste de questions n'a pas changé: sommes-nous seuls dans le cosmos? Y a-t-il eu de la vie ailleurs par le passé? Son émergence est-elle un phénomène rare? C'est à travers ces interrogations que les astronomes essaient de donner un sens à leur quête. A tel point que le thème est devenu un argument de vente: il n'y a plus un projet qui ne soit proposé aux agences sans "l'alibi" de la recherche de la vie… *"Toutes les missions envisagées visent cet objectif,* relève Roger-Maurice Bonnet. *Ce qui préoccupe l'humanité, c'est de savoir s'il y a de la vie ailleurs."*

De son côté, Christophe Sotin, directeur scientifique de l'exploration du système solaire à la Nasa, est enthousiaste: *"La sonde* Cassini *a prouvé qu'une petite lune comme Encelade* [un satellite de Saturne] *pouvait cacher un océan d'eau liquide. On n'en est qu'au début, la prochaine étape est l'exploration des satellites de glace."*

Alpha du Centaure, nouvelle star

Elle a un nom inspirant. C'est l'une des étoiles les plus brillantes du ciel (la troisième après Sirius et Canopus, la quatrième si on compte le Soleil). Et c'est la plus proche de la Terre. Alpha du Centaure a tout pour plaire. Pourtant, elle n'a pas acquis l'aura mythologique d'une Sirius ou d'une Aldébaran… On en trouve peu de mention dans les écrits antiques, et elle n'a donné naissance à aucune croyance populaire. Tout juste quelques temples auraient-ils été alignés sur son lever dans l'Egypte antique. Mais elle se rattrape aux XXe et XXIe siècles: le romancier Isaac Asimov la dote d'une planète-océan dans son célèbre cycle *Fondation*; Arthur C. Clarke l'affuble d'une planète Pasadena dans l'une de ses nouvelles; Hollywood en fait une destination pour des hommes en perdition dans le film *Perdus dans l'espace* (Stephen Hopkins, 1998); et, bien sûr, James Cameron la peuple d'une géante gazeuse et de quatorze lunes, dont la fameuse Pandora, qui abrite d'étranges créatures bleues et des réserves de minerai précieux (*Avatar,* 2009). Assurément, Alpha du Centaure s'est invitée dans un nombre impressionnant de films et de romans de science-fiction, sans oublier les jeux vidéo. **M.F.**

EN MARGE DES INSTITUTIONS

Et voilà que naît, en dehors de la communauté scientifique classique, en dehors des sphères politiques, un nouveau grand projet: celui d'un voyage interstellaire… Un voyage dont l'objectif serait, bien sûr, de vérifier si le vivant existe en orbite autour de l'une des étoiles d'Alpha du Centaure. Une nouvelle utopie, parfaite, qui s'insinue d'autant plus dans toutes les têtes qu'elle semble techniquement réalisable.

"Nous avons désespérément besoin de projets comme celui-là, capables de donner un élan et de fédérer des chercheurs, plaide Merav Opher. *Plus encore que les missions Apollo, ce sont des programmes comme Voyager qui ont permis à la communauté des astrophysiciens de se construire."*

Une analyse que rejoint Alan Stern, qui dirige la mission New Horizons, à la Nasa. *"Le projet Breakthrough Starshot est une inspiration. Nous en avons besoin. Cela va être difficile, mais Apollo l'était aussi. Cela requiert un grand nombre de découvertes, mais Apollo en a fait. Et cela va inspirer le monde, comme l'a accompli Apollo",* conclut-il avec un sens certain de la formule. En somme, c'est l'espoir d'un Apollo pour le XXIe siècle qui, au-delà du projet Breakthrough Starshot lui-même, suscite enthousiasme et adhésion. Un grand symbole.

Mais le chemin reste long qui sépare la vision de sa concrétisation. Dans l'avant-propos qu'il a écrit pour un ouvrage sur l'exploration spatiale, Roger-Maurice Bonnet attire notre attention sur une coïncidence éclairante, citant Constantin Tsiolkovski, le père de l'astronautique: *"La Terre est le berceau de l'humanité, mais on ne passe pas sa vie entière dans un berceau."* Cent quatre ans séparent la naissance de ce visionnaire russe du vol historique de Iouri Gagarine. Soit une durée comparable aux 96 ans qui séparent le lancement du télescope spatial *Hubble* de la naissance de l'Allemand Herman Oberth, également professeur de mathématiques, qui imagina en 1923 mettre en orbite un grand télescope astronomique…

En 1962, John F. Kennedy concluait ainsi: *"Il y a quelques années, on a demandé au grand explorateur britannique George Mallory, qui devait trouver la mort sur le mont Everest, pourquoi il voulait gravir cette montagne. Il a répondu: 'Parce qu'elle est là!' Eh bien, l'espace est là et nous allons y aller."* Alpha du Centaure est là. Vivement qu'on y aille! **M.F., avec C.P.**



EN SAVOIR PLUS

A consulter: les sites de la mission et des divers projets, les études préliminaires.

A lire: *Centauri Dreams* (par Paul Gilster, éd. Copernicus, 2004), qui retrace la quête du voyage interstellaire.

science-et-vie.com

Science & découvertes

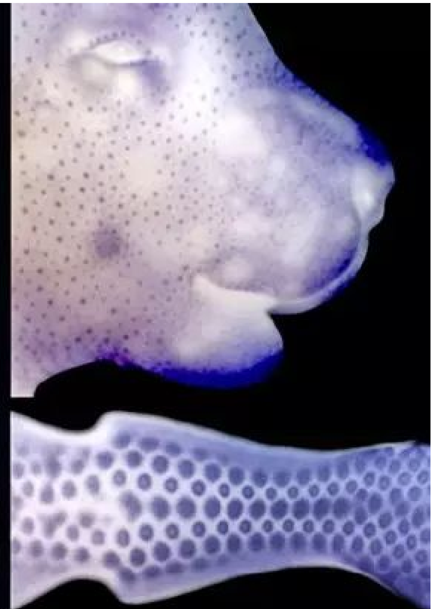
SHUTTERSTOCK - GETTY IMAGES - DE AGOSTINI/GETTY IMAGES - WILL PARSONS/CHESAPEAKE BAY PROGRAM - SHUTTERSTOCK

Plumes, poils, écailles…
Une même origine

Chronologie

2004 : un chercheur italien étudie les évolutions épidermiques qui ont pu donner naissance aux poils, plumes et écailles. **2010 :** une équipe polonaise théorise une possible évolution d'une écaille reptilienne du jurassique en protoplume aviaire. **2015 :** des chercheurs de Yale relèvent des caractéristiques moléculaires communes entre poils, plumes et écailles. **2016 :** une équipe suisse découvre une structure génétique et anatomique commune chez les mammifères, oiseaux et reptiles.





Les parures des oiseaux, des mammifères et des reptiles se développent bel et bien de la même manière. Et c'est un lézard sans écailles qui le prouve ! **Alexandra Pihen** nous explique comment.



LA PREUVE ANATOMIQUE
Chez les embryons de souris, poulet et crocodile, les mêmes taches apparaissent : des amas de cellules appelés placodes, qui donneront des poils, plumes ou écailles.



SHUTTERSTOCK - TZIKA, DI-POÏ, MILINKOVITCH/UNIGE 2016

Quel est le point commun entre une écaille, un poil et une plume ? Si la question a des airs de devinette, elle est loin d'être anodine : elle divise la communauté scientifique depuis longtemps.

Deux hypothèses s'affrontent en effet chez les spécialistes de l'évolution. La première défend une apparition autonome des plumes chez les oiseaux, et des poils chez les mammifères. Ces structures auraient été acquises indépendamment par chaque lignée, oiseaux et mammifères ayant utilisé des gènes qui leur sont propres pour les développer. Ce qui explique qu'on ne les ait jamais retrouvées chez les reptiles.

Si la majorité des scientifiques soutenait cette version, une poignée de biologistes du développement défendait en revanche l'existence d'une même base anatomique dans la formation des poils, des plumes et des écailles, qui aurait été présente chez un ancêtre commun avant de disparaître chez les reptiles.

Cette piste était en réalité la bonne ! Preuve vient en effet d'être faite que poils, plumes et écailles partagent bien une même origine ancestrale. Mieux : contrairement à ce que l'on croyait, les reptiles ont conservé cette caractéristique !

Au cours de leur développement, mammifères, oiseaux et reptiles présentent ainsi les mêmes structures cellulaires, bases indispensables au déploiement des couches protectrices de l'épiderme que sont les poils, les plumes et les écailles.

UN PHÉNOMÈNE BIEN CONNU

Au stade embryonnaire, de petites "taches" apparaissent sur tout le corps, chacune constituée de cellules exprimant toutes un gène spécifique. Collectivement, elles forment les placodes, petites protubérances liées à l'épaississement localisé de l'épiderme, dans lesquelles les cellules prolifèrent pour donner un follicule pileux, une écaille ou une plume.

"Ce phénomène est connu depuis longtemps chez les mammifères et les oiseaux, confirme Michel Milinkovitch, coauteur de l'étude et professeur au département de génétique et d'évolution de l'université de Genève. *Il se forme d'abord une placode anatomique exprimant des gènes particuliers, ce qui permet ensuite le développement des poils. En revanche, malgré la proximité entre les oiseaux et les reptiles, il était impossible de prouver la présence de cette placode chez le lézard, le crocodile ou le serpent."* →

Mais c'était compter sans l'apparition d'un acteur pour le moins incongru en matière de revêtement épidermique : un lézard mutant qui, contrairement à son cousin "barbu" recouvert d'écailles à l'état sauvage, est totalement glabre. *"Quand j'ai découvert le* silkback, *un lézard vendu par des passionnés, son phénotype* [ensemble des caractères apparents] *m'a paru tellement impressionnant que j'ai voulu étudier cette espèce"*, se souvient Michel Milinkovitch.

C'est en analysant le génome de ce lézard "à dos de soie" que Nicolas Di-Poï, l'autre auteur de l'étude, a déniché la mutation responsable de ce dénuement : un rétrotransposon (petite séquence d'ADN insérée dans un gène) est à l'origine de l'absence d'acides aminés dans la protéine produite par le gène, bloquant son fonctionnement normal. Le lézard mutant n'exprime alors plus le gène indispensable à la formation des écailles. *"Ce qui a fait tilt, c'est que ce même gène est connu pour être très important dans le développement de la placode des poils chez la souris et des plumes chez le poulet"*, explique le biologiste.

REGARDER AU BON MOMENT

Cette révélation génétique conforte l'intuition des chercheurs : le lien évolutif entre poils, plumes et écailles existe et doit pouvoir être prouvé. Restait à traquer les fameuses placodes chez les reptiles, et à comprendre pourquoi on ne les avait pas trouvées jusqu'ici.

Comment ? *"En regardant partout et tout le temps !"* Lézard, crocodile et serpent sont donc passés au crible d'une analyse ultrafine. Et bingo, les placodes sont bien là. Mais contrairement aux mammifères et aux oiseaux, chez lesquels elles se forment toutes en même temps au stade embryonnaire et sont donc facilement repérables, celles des reptiles sont furtives, explique Michel Milinkovitch : *"Les placodes apparaissent les unes après les autres. Lorsqu'une placode commence à se former dans une direction donnée, la précédente s'est déjà transformée en écailles et est devenue méconnaissable. Si vous ne regardez pas au bon endroit et au bon moment, impossible de la détecter."*

En parallèle, les chercheurs effectuent des comparatifs génomiques. *"Nous avons retrouvé tous les gènes connus dans le développement précoce des poils et des plumes chez les crocodiles, les serpents et les lézards. Nous avions enfin la double preuve, anatomique et génétique. Une placode de reptile est impossible à distinguer d'une placode de mammifère ou d'oiseau"*, se réjouit Michel Milinkovitch.

Reflet de l'expression de gènes spécifiques, cette caractéristique anatomique a donc bravé 320 millions d'années pour développer ces follicules pileux, plumeux ou écailleux extraordinairement variés dans les différents groupes terrestres. *"Cette découverte clôt la controverse et propose une théorie unificatrice"*, apprécie Vincent Laudet, biologiste du développement au laboratoire Arago (Banyuls-sur-Mer).

Reste à comprendre comment ces poils, plumes et écailles se sont autant différenciés au cours de l'évolution. Avant peut-être de découvrir des possibilités insoupçonnées : on savait déjà que certains tyrannosaures portaient des plumes (lire l'encadré). Et si le serpent à plumes vénéré par les Mayas avait réellement existé ?

Sur la piste du dinosaure à plumes…

Chez la plupart des oiseaux, le bas des pattes est couvert d'écailles. Pourtant, poules et pigeons arborent aussi parfois de belles plumes. Des chercheurs de l'université de l'Utah ont décelé les deux gènes, présents dans toute la lignée des pigeons, responsables de cette mutation. Le premier, aussi impliqué dans le développement des ailes, est singulièrement actif chez les pigeons aux pattes emplumées quand le second, prépondérant dans le déploiement des membres postérieurs, est inactif. La patte se dote ainsi de caractéristiques propres aux ailes : ossature plus importante et plumes. Cette découverte éclaire d'un nouveau jour les mécanismes intervenus lors du passage de l'écaille à la plume chez les dinosaures.



*EN SAVOIR PLUS

A lire : la publication des chercheurs ; le résumé sur le site du laboratoire.

science-et-vie.com



Pollution lumineuse

Les lumières de la ville sèment la pagaille chez les arbres

L'éclairage nocturne dupe la flore en lui faisant croire que le printemps est déjà là. A la clé ? Des perturbations en cascade, que nous détaille **Emilie Rauscher.**

Le soleil se couche… et pourtant la clarté ne disparaît pas vraiment. Partout autour de nous, lampadaires, vitrines bardées de néons et autres dispositifs de l'éclairage public se relaient pour faire reculer le domaine de l'obscurité. Entre le jour et la nuit, architectes de notre quotidien et de nos saisons, la "lutte" est désormais inégale – depuis que, il y a quelque 150 ans, l'homme a inventé la lumière artificielle.

Cette création fabuleuse qui prolonge le jour cache pourtant une face plus sombre : une pollution insidieuse, et paradoxalement invisible. Pas de déforestation ni de substances toxiques relâchées dans l'environnement… juste des photons. Anodines particules de lumière en apparence, elles bouleversent, selon de récentes découvertes scientifiques, quasiment tous les aspects de la vie animale (lire encadré p. 62).

Et une étude britannique vient de révéler que la flore était également frappée : des mauvaises herbes aux grands arbres, des fonctions vitales sont altérées, en particulier le bourgeonnement. Une surprise, et un choc, tant ces résultats sont inattendus. En termes de perturbation des écosystèmes planétaires, seul le changement climatique a plus d'impact (voir *S&V* n° 1075).

Car son emprise est globale : le dernier atlas mondial de la pollution lumineuse, paru en juin, rapporte ainsi que 25 % de la surface terrestre et 88 % de l'Europe sont contaminés par les éclairages nocturnes – près de 99 % des Occidentaux ne distinguent même plus la Voie lactée, noyée dans la luminescence parasite nocturne.

UNE ÉTUDE PIONNIÈRE

Comment, dès lors, imaginer que la végétation n'était pas affectée ? *"On ne sait pas depuis combien de temps la pollution lumineuse est devenue une perturbation,* admet Clémentine Azam, chercheuse au Centre d'écologie et des sciences de la conservation du Muséum national d'histoire naturelle (MNHN). *C'est même assez fou que ses effets sur la flore aient jusqu'ici été si peu examinés… Mais on dispose enfin maintenant de cette étude pionnière portant sur l'impact de la lumière artificielle à l'échelle de pays entiers !"*

Chronologie

XIXe s. : débuts de l'éclairage artificiel.
Années 1980 : des astronomes alertent les pouvoirs publics au sujet de la pollution lumineuse.
Années 1990 : les biologistes s'emparent de la question pour la faune.
2001 : publication du premier atlas mondial de la pollution lumineuse.
2016 : 88 % du ciel européen est contaminé.

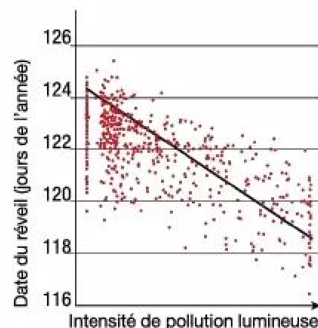
GETTY IMAGES

On le sait, le rôle de la lumière sur les plantes est essentiel. Pour rappel, ces dernières perçoivent l'énergie lumineuse grâce à des photorécepteurs sensibles aux tons plus chauds (rouges) et l'utilisent notamment pour leur photosynthèse ou pour réguler leurs cycles biologiques. Dès 2008, Jean-Philippe Siblet, directeur du service du Patrimoine naturel du MNHN, consacrait un rapport à l'impact de la pollution lumineuse sur la biodiversité et soulignait le rôle de l'alternance jour/nuit: *"Les processus affectés par la lumière sont la germination, la croissance, l'expansion des feuilles, la floraison, le développement des fruits et la sénescence"*. A quoi il faut rajouter l'influence sur les réseaux de racines. La gamme des perturbations engendrées par la Fée électricité sur notre environnement, tiré des cycles naturels qu'il suivait depuis des millions d'années, est donc particulièrement étendue!



> V L'ARBRE "CROIT" À LA FIN DE L'HIVER
L'éclairage nocturne (îlots bien nets ci-dessous) agit sur les photorécepteurs des plantes, dont le bourgeonnement (ci-contre) a lieu… jusqu'à 7,5 jours trop tôt ! Et cela, indépendamment de la température.





La faune sous les projecteurs

Si l'impact de la pollution lumineuse sur la végétation avaient été négligé jusqu'à ce jour par les écologues, il n'en va pas de même pour les animaux. Depuis vingt ans, les études se multiplient pour démontrer ses effets sur le sommeil, les migrations, les comportements de prédation et de reproduction. Aucun groupe n'est épargné: mammifères, poissons, oiseaux. Et les espèces nocturnes, qui voient leur territoire rogné un peu plus chaque jour, sont les plus menacées. Alors même qu'elles représentent 30 % des vertébrés et 60 % des invertébrés, pointe Clémentine Azam (MNHN), qui dirige une étude sur les effets de la pollution lumineuse sur les chauves-souris en France.

"Nous savions dès les débuts des sciences agricoles, au XIXe siècle, que les éclairages étaient capables d'influer sur les plantes, rappelle Richard Ffrench-Constant, de l'université d'Exeter (Royaume-Uni), auteur principal de l'étude. *Mais, jusqu'ici, nous avions été incapables de démontrer que les lumières artificielles avaient un effet aussi général."* Les recherches se concentraient sur des environnements artificiels, comme des serres, à la luminosité et la température maîtrisées, ou sur des milieux naturels très réduits, autour d'un ou deux lampadaires, par exemple. Il fallait voir plus grand.

Ce sont l'amélioration des données satellite et l'essor de la science participative qui ont rendu le travail de l'équipe de l'écologiste britannique possible. Désormais capables de localiser et de quantifier précisément les îlots de pollution lumineuse à l'échelle de pays entiers – en l'occurrence le Royaume-Uni – et d'obtenir les jours exacts de réveil des bourgeons dans l'année (voir graphique), les biologistes ont découvert que la pollution lumineuse pouvait provoquer un bourgeonnement jusqu'à 7,5 jours plus tôt que la normale! Et plus une zone est illuminée, plus l'effet est marqué: il est donc progressif, même si le seuil fatidique n'est pas encore identifié. *"Nous avons été stupéfaits*



d'un tel résultat, souligne Richard Ffrench-Constant. *Car nous nous attendions à un effet, mais d'un ou deux jours maximum !"* Et les chercheurs ont pu prouver que ce décalage n'était pas lié à une hausse des températures, connue, elle aussi, pour faire venir plus tôt le printemps…

Pour l'heure, l'équipe britannique a travaillé sur quatre espèces d'arbres, les érables sycomores, les hêtres, les chênes et les frênes ; la première étant la plus précoce (réglée sur l'évolution des températures), les trois autres ayant une croissance plus tardive (plus sensible à la lumière). *"Nous avons logiquement trouvé une différence entre elles et, à basse température (4 °C), c'est le frêne qui est le plus affecté,* constate Richard Ffrench-Constant. *Nous aimerions confirmer sur un échantillon d'arbres bien plus large, incluant davantage d'espèces et de continents, pour prouver qu'il s'agit bien d'un phénomène universel…"*

Il ne fait toutefois guère de doute que, dans des zones de climat équivalent, les résultats seraient similaires. Le biologiste ne cache d'ailleurs pas son intérêt pour de telles données en France, des projets de science participative de même type existant déjà – comme l'Observatoire des saisons.

Des éclairages qui font "croire" aux arbres que l'hiver est fini plus tôt que prévu, la belle affaire serait-on tenté de se dire… Quelles conséquences ? Elles sont en fait légion, et dramatiques. D'abord pour les arbres eux-mêmes : car ceux-ci voient leurs bourgeons s'ouvrir et perdre leur bourre protectrice trop tôt, se trouvant dès lors à la merci du moindre gel un peu tardif. De quoi griller les plus sensibles au froid.

DES EFFETS EN CASCADE

En toute logique, sont ensuite concernés les animaux qui dépendent d'eux. *"L'éclosion des feuilles signale le début du printemps, et de nombreuses espèces sont calées sur cet événement : les chenilles qui se nourrissent des petites feuilles tendres, puis les oiseaux qui vont manger ces chenilles, etc. C'est un effet en cascade : soit tout le monde réussit à suivre, soit il y a décalage avec risque de conséquences majeures",* expose Clémentine Azam. Bref, une anomalie capable de déstabiliser des écosystèmes entiers…

Cette première étude, aux résultats aussi forts qu'incontestés, en appelle donc de nouvelles. Histoire d'éclaircir les nombreuses questions qu'elle soulève : jusqu'où le halo lumineux des villes, qui s'étend sur des dizaines de kilomètres, a-t-il un effet ? Quelles sont les espèces les plus vulnérables ? Quels sont les écosystèmes à surveiller de près ? Sur ce dernier point, il semblerait que nos latitudes soient les plus concernées : en raison de nos saisons bien marquées, la végétation est très réactive aux signaux envoyés par son environnement.

"Le nombre de publications sur la pollution lumineuse augmente de façon exponentielle depuis une dizaine d'années, note Clémentine Azam. *Jusque-là, il s'agissait de travaux à petite échelle, mais, depuis deux ans, on voit arriver les premières études d'envergure, grâce, notamment, à la précision grandissante des données satellite, que l'on peut désormais croiser avec nos données biologiques. C'est clairement un champ de recherche neuf qu'on est en train de découvrir…"*



EN SAVOIR PLUS

A lire : l'étude britannique et une sélection de rapports sur le sujet.
A consulter : le site de l'Observatoire des saisons.

science-et-vie.com

WIL MEINDERTS/BUITEN-BEELD/MINDEN PICTURES – ESA/NASA

Volcans d'Auvergne
Ils sont bien vivants

Difficile d'imaginer une éruption dans le si paisible Massif central… et pourtant ! Enfouie sous la chaîne des Puys, une vaste poche de magma pourrait relancer l'activité volcanique à tout moment. **Vincent Nouyrigat** a pris l'hypothèse au sérieux.

Le décor paraît immuable: des prairies d'un vert éclatant, d'imperturbables troupeaux de vaches à viande, quelques forêts épaisses recouvrant des reliques basaltiques figées pour l'éternité. A moins d'être un anxieux pathologique, personne ne s'attend à voir une éruption volcanique déchirer soudain le paysage champêtre du Massif central. Là, en plein cœur de la France…

Et pourtant ! Deux études récentes suggèrent la présence, à environ 10 km de profondeur, quelque part sous la chaîne des Puys, d'une poche de magma chaud et visqueux. Un réservoir qui pourrait bien être réactivé et éjecté à la surface dans quelques mois, quelques siècles ou millénaires – qui sait ? Les volcans d'Auvergne sont peut-être endormis, mais ils sont loin d'être éteints.

Incroyable ? Pas tout à fait. *"On le sait, il y a très peu de chances que le Massif central, dans son ensemble, soit*



Repères

La chaîne des Puys est le plus récent complexe volcanique de l'Hexagone (95 000 ans). La plupart de ses 80 édifices, de formes variées, se sont érigés en une seule et brève éruption – ce sont des volcans "monogéniques". Le plus haut et le plus connu de tous est le puy de Dôme (550 m au-dessus du socle).

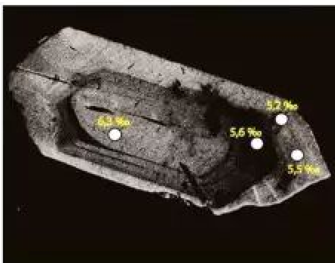
B.BOURGEOIS - DE AGOSTINI/GETTY IMAGES

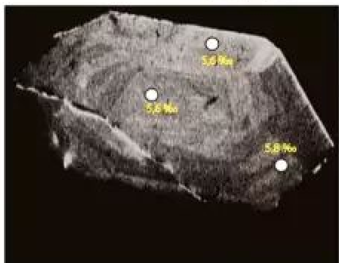
totalement inactif sur le plan magmatique : la dernière éruption, celle du Pavin, remonte à seulement 6700 ans sur une histoire de plus de 60 millions d'années, entrecoupée de pauses de millions d'années, éclaire Lydéric France, du Centre de recherches pétrographiques et géochimiques de Nancy. *Cela dit, aucune zone en particulier n'a jusqu'ici été identifiée comme magmatiquement active."* Ni sous le Cantal, ni sous le Velay, les monts Dore ou le Vivarais… ni sous la chaîne des Puys.

Dans l'esprit des volcanologues, la centaine d'édifices volcaniques constituant la chaîne des Puys a été générée par autant de petites chambres magmatiques aujourd'hui refroidies et cristallisées, pour ainsi dire mortes. Circulez, il n'y a plus rien à voir ! *"Les volcanologues préfèrent désormais étudier les volcans 'prestigieux' comme le Yellowstone aux Etats-Unis ou le Piton de la Fournaise à la Réunion, qui mobilisent l'essentiel des financements"*, fait remarquer le chercheur.

Des laves à la composition étrangement proche

Les chercheurs ont analysé 11 échantillons de lave issus du puy de Dôme (à g.), et 30 issus du Grand Sarcouy (à dr.), à l'aide d'une sonde ionique (ci-contre). Résultat : tous présentent la même contamination en oxygène 18, mesurée en différents endroits (points blancs). C'est donc que les laves des deux volcans proviennent d'un même réservoir magmatique, forcément très grand.







UNE CHAMBRE DE 6 À 15 KM³

Mais ce paradigme des petites chambres individuelles est aujourd'hui battu en brèche. Menés notamment par Lydéric France, les derniers examens poussés des laves du célèbre puy de Dôme et de celles du puy du Grand Sarcouy, distants de 5 km, révèlent en effet une origine commune ! *"Notre analyse par sonde ionique du cœur de leurs cristaux de zircon affiche une même contamination en oxygène 18 : c'est donc qu'ils ont séjourné dans le même réservoir"*, s'enthousiasme le spécialiste. Un seul et même réservoir aurait été responsable, il y a environ 12000 ans, de ces deux éruptions majeures.

Et cela change tout. En effet, les modèles thermocinétiques (qui étudient les transferts de chaleur) laissent présager l'existence d'une chambre magmatique d'un volume considérable, entre 6 et 15 km³ ; notez que l'érection du puy de Dôme avait mobilisé "seulement" 0,4 km³ de matière. Or, au vu de son épaisseur, sans doute proche des 500 m, et des caractéristiques de la roche, ce réservoir volcanique n'aurait pas eu le temps de refroidir complètement. Une partie du magma serait donc encore liquide, ou du moins sous forme de bouillie cristalline.

Cette hypothèse renversante avait déjà été esquissée à la suite d'expériences de refroidissement de laves des puys menées en 2012 dans les laboratoires de l'Institut des sciences de la Terre d'Orléans. Caroline Martel, à l'origine de ces travaux précurseurs, va même plus loin : *"Nos simulations incitent à penser que quatre édifices volcaniques proviennent d'un même vaste réservoir : le puy de Dôme et le Sarcouy, mais aussi le puy Chopine et le puy de Clierzou."*

Certains spécialistes restent dubitatifs. *"Ces articles*



LYDÉRIC **FRANCE**
Chercheur au Centre de recherches pétrographiques et géochimiques de Nancy

Il y a très peu de chances que le Massif central soit totalement inactif sur le plan magmatique

L.FRANCE ET AL./LITHOS - G.UTARD/PHOTOPQR/L'EST REPUBLICAIN/MAXPPP - IODP



n'apportent aucune preuve convaincante", assène Didier Laporte, directeur technique du Laboratoire magmas et volcans, à Clermont-Ferrand. *"Ce sont des travaux stimulants mais loin d'être conclusifs : cette idée de grand réservoir de magma situé à mi-chemin des puys de Dôme et du Sarcouy s'accorde mal avec d'autres éruptions qui se sont déroulées entre-temps dans la zone"*, soupèse Pierre Boivin, volcanologue spécialiste de la chaîne des Puys. *"Peut-être, mais deux approches totalement différentes ont abouti à cette même hypothèse"*, oppose Caroline Martel.

UNE ÉRUPTION À PRÉVOIR

En attendant que les géophysiciens s'emparent du sujet pour tenter de détecter les contours de cette chambre mystérieuse... Car cette pâte visqueuse, pour l'heure absolument inoffensive, pourrait un jour être remobilisée par l'apport de magma primitif déboulant des limites du manteau terrestre. L'existence d'une roche très chaude, voire fondue, à 30 km de profondeur sous le Massif central, ne fait d'ailleurs guère de doute – une anomalie thermique apparaît distinctement sous l'Auvergne.

D'autant plus, rappelle Pierre Boivin, que *"l'environnement géodynamique actuel est le même que celui qui était en place lors des périodes volcaniques intenses : le champ de contraintes locales, l'activité sismique, le système de failles ouvertes et mobiles... Clairement, la chaîne est encore en état de fonctionner"*.

Sa réactivation pourrait avoir lieu en quelques semaines seulement, sous la surveillance des cinq capteurs sismiques installés dans la zone... Encore faudrait-il interpréter correctement les causes de cette crise géologique.

Conséquence : *"Selon la nature du magma, cela pourrait donner lieu à une éruption 'touristique' très circonscrite ou à un événement destructeur avec des déferlements intenses de cendres et de blocs, comme ce fut le cas au puy Chopine, voire à un phénomène très explosif en cas de rencontre du magma avec l'un des nombreux aquifères de la région"*, énumère Pierre Boivin. De quoi peut-être transformer Clermont-Ferrand en Pompéi !

Alors que faire ? Se préparer au pire ou laisser venir ? Les scientifiques sont particulièrement démunis face à ce type de volcanisme dit "monogénique", où les volcans surgissent en une seule éruption, n'importe où et n'importe quand. A la différence de volcans comme la Soufrière, en Guadeloupe, dont les manifestations correspondent au rythme de vie humain, *"les principales crises dans la chaîne des Puys, il y a 40 000 ans puis il y a 10 000 ans, ont déclenché des éruptions espacées de plusieurs siècles"*, relève Lydéric France.

Et s'il n'y avait que la chaîne des Puys ! D'autres structures du Massif central paraissent également propices à un retour du volcanisme : pourquoi pas dans la région du Velay, sous laquelle on relève la plus forte anomalie thermique ; ou dans celle du Pavin, lieu de la dernière éruption enregistrée à ce jour ; ou bien encore sous l'agglomération clermontoise et ses 470 000 habitants...

Un jour, c'est sûr, un nouvel édifice volcanique de plusieurs centaines de mètres de hauteur s'imposera violemment dans le décor du Massif central. Aucun paysage n'est immuable...



A consulter : plusieurs sites, didactiques, expliquant les mécanismes si particuliers de la chaîne des Puys.

EN SAVOIR PLUS

science-et-vie.com

L'IN

Contexte

Depuis le 1er juillet, la France interdit l'usage des sacs plastique à usage unique en caisse. Le Canada et les Etats-Unis commencent à envisager les déchets plastique – jusqu'ici traités à l'égal des rebuts alimentaires ou végétaux – comme des objets toxiques. Louable, mais trop tard…

Les plastiques qui, dans l'océan, forment un "7e continent", cachent un fléau invisible : ils se dégradent en microplastiques, dont **Vincent Nouyrigat** a suivi la trace bien au-delà des mers.

Microplastiques VASION

WILL PARSONS/CHESAPEAKE BAY PROGRAM - SHUTTERSTOCK

Nous avons tous été, à un moment ou à un autre, écœurés à la vue d'un sac de courses ou d'un emballage souillant une plage de rêve ; scandalisés de découvrir, au détour d'un sentier, un dépôt sauvage de bidons, pneus, pare-chocs et carcasses de lave-linge ; outrés par les images de ces "continents de plastique" se formant au milieu des océans.

Et pourtant, l'essentiel du problème nous a tous échappé ! Défenseurs de l'environnement, navigateurs, océanographes, biologistes, journalistes ou simples citoyens... Personne n'avait jusqu'ici vraiment réalisé l'ampleur de la dissémination des déchets plastique. Dont l'immense majorité est devenue, justement, invisible à nos yeux.

Depuis quelques années, les chercheurs constatent en effet dans leurs échantillons l'omniprésence de minuscules résidus de plastique, d'un diamètre inférieur à 5 millimètres. Y compris dans les endroits les plus vierges de gros déchets, si visibles et gênants. A peine évoqués il y a encore trois ans, ces imperceptibles microplastiques (lire Jargon p. 70) ont justifié cette année plusieurs centaines de publications scientifiques et déclenché en mai un colloque international réunissant plus de 600 chercheurs. Il faut dire que cette invasion a pris des proportions à peine croyables, presque irréelles.



"Nous avions récupéré des carottes de glace provenant de récentes expéditions en Arctique, à la recherche de diatomées, ces magnifiques algues unicellulaires… Or, après fonte et filtration, nous sommes tombés sur des fragments de plastique colorés ! témoigne, encore chamboulée, Rachel Obbard, à l'université Dartmouth (Etats-Unis). *C'est d'autant plus étonnant que cette glace provient essentiellement du milieu de l'océan Arctique."* Arctique ou pas, ces microplastiques figurent dans environ 90 % des échantillons prélevés au gré des dernières expéditions à la surface des océans. Dans les premiers centimètres de la mer Méditerranée, les densités en particules synthétiques sont parfois comparables à celles du zooplancton. L'analyse du littoral réalisée ces dernières années est tout aussi édifiante : ces grains artificiels ont été retrouvés sur les rivages néo-zélandais, norvégiens, néerlandais, libanais, français, omanais, japonais… – jusqu'à représenter 3,3 % du poids des sédiments prélevés.

DANS TOUS LES OCÉANS… ET SUR TERRE AUSSI

Mais encore ? *"Nous en avons découvert partout sur les fonds marins, même dans des canyons jusqu'ici inexplorés"*, souffle Lucy Woodall, biologiste marine à Oxford. Des chercheurs de l'université de Gand (Belgique) ont retrouvé trois microfragments de plastique dans un échantillon de sédiments provenant de la plaine abyssale de Porcupine (Atlantique Nord), à quelque 4 842 mètres de profondeur.

Ce nouvel envahisseur ne se cantonne pas à l'eau de mer : il a été repéré en masse dans les eaux du Rhin, du Danube, de la Tamise, du Yangzi Jiang, du Saint-Laurent, du Rhône ou encore de la Seine, où l'on compte jusqu'à 108 particules de plastique pour 1 m^3 d'eau. Les lacs n'y échappent pas : une étude suisse de 2013 montre que le Léman comporte à sa surface environ 220 000 résidus par kilomètre carré, et plus de 1 000 par mètre carré sur ses rives. Même les plans d'eau les plus éloignés de toute civilisation, les mieux préservés, les plus virginaux, sont colonisés : le lac sacré de Khovsgol, en Mongolie, affiche ainsi une contamination de 20 000 particules de plastique par kilomètre carré.

Jargon

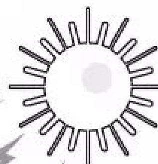
Les microplastiques sont constitués de **fragments** issus de la détérioration des déchets plastique ou de l'abrasion d'objets synthétiques, de **fibres** libérées par nos tissus, ainsi que de **microbilles** employées dans les cosmétiques ou par l'industrie plasturgique – des déversements accidentels de cargaison ont parfois lieu.

"Partout où on en cherche, on en trouve", soupire Jean-Pierre Desforges, écologue à l'université d'Aarhus (Danemark). Partout. Vraiment partout. Dans l'air ambiant, par exemple : les prélèvements effectués l'année dernière en région parisienne par des chercheurs de l'université Paris-Est recensent la retombée d'une moyenne de 111 fibres plastique par mètre carré chaque jour. Au sein même du vivant : la présence de microplastique a été révélée dans les entrailles de zooplancton du Pacifique Nord-Est, de baleines, crabes, tortues, concombres de mer, vers marins, crevettes, homards, phoques, otaries, huîtres ou encore moules – les spécimens canadiens affichent plus de 30 microparticules par coquillage. Environ 28 % des poissons étudiés sur les étals des marchés indonésiens contiennent du microplastique, à raison d'une moyenne de cinq particules chacun ; une étude menée en 2014 par l'Institut national de l'environnement industriel et des risques montre que 12 % des goujons sauvages prélevés dans les rivières françaises hébergent au moins une particule.

Cette pollution tentaculaire touche jusqu'aux produits les plus improbables. Deux études récentes révèlent la présence de microfibres dans la totalité des pots de miel français et allemands étudiés – même bio, artisanaux ou montagnards –, jusqu'à 660 microrésidus par kilo ; une analyse publiée en novembre 2015 dans *Environmental Science & Technology* dévoile leur présence dans du sel de table chinois, entre 55 et 68 microparticules pour 100 grammes ; le sucre et la bière testés en Allemagne donnent le même genre de résultats.

Eau, glace, air, terre, chairs… Les microplastiques ont littéralement colonisé notre monde. Une invasion finalement à la hauteur

WILL PARSONS/CHESAPEAKE BAY PROGRAM - SHUTTERSTOCK - B.BOURGEOIS



de notre folle consommation de plastique depuis le début des années 1950. La production de ces longues chaînes de carbone et d'hydrogène n'a jamais cessé de croître, au rythme moyen de 9 % par an, pour atteindre 322 millions de tonnes en 2015. D'ailleurs, personne ne s'est jamais plaint de consacrer plus de 8 % de la production mondiale de pétrole à la fabrication de ce substitut idéal au bois, au verre ou à l'acier; une matière fantastique, à la fois légère, résistante, insensible à la corrosion, malléable, isolante, bon marché. Songez au polyéthylène de nos sacs de courses et de nos bouteilles, songez au polypropylène des filets de pêche, bidons et Tupperware, songez au polystyrène des emballages, au polyuréthane des pneus, semelles de chaussures et pare-chocs, à l'acrylique de nos vêtements et autres tissus, au polychlorure de vinyle (PVC) de nos tuyauteries, au polycarbonate de nos équipements informatiques… Ou à ces petites billes insérées dans nos pâtes dentifrices et nos produits cosmétiques exfoliants.

Soixante ans de production galopante, mais aussi de laisser-aller dans la gestion des déchets et de recyclage poussif – en France, seulement 25 % des emballages sont recyclés. D'après une étude parue l'année dernière dans *Science*, entre 4,8 et 12,7 millions de tonnes de plastique finissent chaque année dans les océans.

Voilà le résultat ! *"Quand on y songe, il paraît évident que cela allait prendre cette tournure"*, rumine Chelsea Rochman, biologiste marine à l'université de Toronto. Difficile aujourd'hui de



jouer les étonnés face à ces déchets jetés à la mer ou dans les fleuves qui se délitent et génèrent des débris toujours plus petits, une nuée de microplastiques.

UNE FRAGMENTATION PEU ÉTUDIÉE

Comment n'a-t-on pas pu anticiper cette invasion ? Selon Alexandra Ter Halle, chercheuse au Laboratoire des interactions moléculaires et de la réactivité chimique et photochimique (Toulouse), *"l'industrie a consacré de très nombreuses études au vieillissement du plastique sur la durée de vie normale de ses produits, mais pas au-delà ! Quasiment aucune expérience n'a été menée sur la fragmentation de ces matériaux dans l'environnement"*. En clair, les ingénieurs qualité n'avaient cure de la décomposition de leur joujou plastique sous l'effet conjugué du rayonnement solaire, de la houle, des courants, du vent, de l'eau de mer et des micro-organismes. Quant aux autres acteurs… *"La problématique des déchets plastique mobilisait jusqu'ici des océanographes et biologistes sans connaissance approfondie sur les matériaux ; les chimistes ne se penchent sur la question que depuis très récemment"*, argumente Fabienne Lagarde, de l'Institut des molécules et matériaux du Mans. Or, poursuit la chimiste, *"ces objets en polymères semblent avoir une vie plutôt courte sous leur forme intègre, et pourraient bien se fragmenter beaucoup plus vite qu'on aurait pu le penser"*.

Les premières expériences menées en laboratoire révèlent des processus d'une complexité inattendue. S'il est clair que le rayonnement solaire ultraviolet contribue largement à briser les longues chaînes de polymères, la géométrie et la taille des particules obtenues influencent ensuite la vitesse de fracturation. Les chemins de dispersion de ces fragments sont encore plus flous. *"Au fur et à mesure que les molécules se raccourcissent et que les surfaces s'érodent, on assiste à des changements profonds de propriétés chimiques et mécaniques ; la flottabilité, par exemple, n'est plus la même,* a identifié Fabienne Lagarde. *Des processus inconnus interviennent, et à ce jour nous sommes incapables d'extrapoler le devenir exact d'une bouteille en plastique."* (Voir l'infographie p. 71.)



Certains plastiques lourds, comme les polycarbonates, ont naturellement tendance à couler vers les fonds marins. Les moins denses, tel le polyéthylène, flottent mais pourraient aussi s'enfoncer dans la colonne d'eau sous l'effet de turbulences ou sous le poids des organismes et algues qui les colonisent (lire l'encadré p. 74)… Organismes qui pourraient dépérir à grande profondeur, faute de lumière, et donc relarguer un partie de ces morceaux vers la surface.

"Nous ne parvenons à suivre que le plastique situé à la surface, grâce à notre compréhension des courants, se justifie Ronan McAdam, océanographe à l'Imperial College de Londres. *Le problème, c'est que seulement 1 % du plas-*

WILL PARSONS/CHESAPEAKE BAY PROGRAM - SHUTTERSTOCK

Vous avez dit "biodégradable" ?

L'appellation est souvent utilisée à tort. Par exemple pour désigner des plastiques "oxodégradables" : des fibres synthétiques classiques auxquelles on a ajouté du manganèse visant à accélérer la fragmentation, ce qui génère… des particules de microplastique. *"Ce n'est pas parce que le produit devient invisible qu'il a disparu"*, s'insurge la chimiste Fabienne Lagarde. Un plastique biodégradable *stricto sensu* répond à une norme européenne édictée en 2007 : il doit se dégrader d'au moins 90 % en six mois maximum dans des conditions de compostage domestique – fortes chaleur et humidité, haute activité microbiologique qui consomme le tout. Reste qu'en pleine nature, ces conditions optimales sont rarement, voire jamais réunies : un récent rapport de l'ONU dénonce la persistance des sacs biodégradables dans l'océan.



tique qui entre dans l'océan flotte !" C'est dire les quantités phénoménales de microplastiques évoluant entre deux eaux, logés au moins temporairement dans les organismes marins ou les oiseaux, échoués sur les rivages ou sans doute massivement au fond des mers.

Mais l'effritement des gros déchets n'est pas la seule cause de cette grande invasion. D'autres sources, encore plus insidieuses, interviennent. Une étude britannique a ainsi démontré que le lavage en machine d'un seul vêtement en polyester ou acrylique libérait au moins 1 900 fibres dans les eaux usées. Sachant que l'usage de certains produits cosmétiques ajoute la bagatelle de plusieurs milliers de billes en plastique à chaque utilisation. Même si les stations d'épuration parviennent à bloquer plus de 90 % de ces microplastiques, le reste se retrouve dans les boues d'épuration, souvent épandues sur les terres agricoles. Tandis que *"l'air ambiant est constamment alimenté par l'abrasion des pneus de voiture, ou encore, sans même que nous nous en rendions compte, par l'usure continue de tous nos textiles synthétiques, qui libèrent de nombreuses fibres"*, expose Johnny Gaspéri, chercheur au Laboratoire eau, environnement et systèmes urbains (université Paris-Est-Créteil). Poussées par le vent, ces fibres se déposent sur les lacs les plus purs, les fleurs dont le nectar deviendra du miel, l'orge dont on fait la bière, ou encore à même le sol, avant d'être emportées par une pluie d'orage vers le cours d'eau le plus proche.

Et alors ? En pleine alerte sur les pesticides et les perturbateurs endocriniens, le plastique serait bien en peine d'effrayer la population : après tout, ce matériau est en soi chimiquement inerte et issu de produits naturels fossiles, pétrole ou gaz... Sauf qu'il sera difficile de rester insensible aux résultats des expériences menées ces derniers mois : soumis pendant vingt-huit jours à de très fortes densités de particules de polystyrène, des vers marins *A. marina* ont déclenché des réactions inflammatoires et connu une très nette baisse d'activité ; exposées pendant deux mois à forte dose dans les laboratoires de l'Ifremer, des huîtres creuses du Pacifique ont vu leur fécondité chuter de 41 % ; des larves de perche, soumises à des teneurs en microplastiques cette fois-ci comparables à celles trouvées dans l'environnement, ont montré des retards de développement et ne réagissaient plus à l'odeur menaçante de leurs prédateurs.

DES ÉPONGES À POLLUANTS

Comportements étranges, baisse de fertilité, perte d'énergie... *"Ces microplastiques ont la taille idéale pour être facilement ingérés par de nombreux organismes, et ainsi donner une fausse impression de satiété, entraînant alors des déficits énergétiques"*, explique Jean-Pierre Desforges. Voies respiratoires et digestives peuvent aussi être obstruées, au moins temporairement. Il ne faut pas non plus oublier que de nombreux additifs ont été injectés au sein des plastiques, aussi funestes que le bisphénol A ou les phtalates, perturbateurs endocriniens notoires. En outre, rappelle Fabienne Lagarde, *"le plastique, très hydrophobe, trouve des affinités dans l'eau avec d'autres molécules hydrophobes parmi lesquelles des polluants organiques, comme les PCB et pesticides"*. Ces microplastiques sont de véritables →

éponges à polluants; des doses de PCB un million de fois supérieures à celles de l'eau environnante ont été relevées sur les côtes japonaises. Néanmoins, ces formules chimiques et ces chiffres effrayants ne disent rien de l'efficacité avec laquelle ces molécules délétères pourraient être transférées au vivant. Les effets chimiques du microplastique ne sont pas clairement établis: *"A ce stade, nous ne pouvons toujours pas dire s'ils présentent un risque écologique"*, soupèse Bart Koelmans, écotoxicologue à l'université de Wageningen. Pas plus qu'un risque sanitaire…



Ces organismes qui profitent du plastique

"Les supports flottants sont une ressource rare en plein océan, et toutes sortes d'organismes en profitent", explique Eric Zettler. Ce microbiologiste américain a ainsi détecté sur des déchets plastique, à la surface de l'Atlantique Nord, de singuliers écosystèmes microbiens comprenant des espèces normalement absentes de l'eau de mer! Selon les derniers calculs, de 15000 à 51000 milliards de microplastiques évoluent sur les mers: soit autant de moyens de dissémination pour algues, foraminifères et autres invertébrés entre deux îles voire deux continents – organismes qui se contentaient jusqu'ici de bois flotté, de noix de coco et plus récemment de coques de navire. Pour l'océanographe François Galgani, *"le transfert d'espèces invasives constitue la plus grande menace des microplastiques"*.

Le premier état des lieux publié en juin par l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) ne se montre pas spécialement inquiet. Vraiment? *"Nous ne consommons pas le système digestif des animaux dans lequel se logent les microplastiques, à l'exception des bivalves,* évalue Alain-Claude Roudot, du Laboratoire d'évaluation du risque chimique pour le consommateur (Brest). *Au total, le risque sanitaire posé par les microplastiques reste faible par rapport à la pollution existante, même si on peut se poser des questions sur les effets locaux d'un microfragment sur notre microbiote intestinal."*

La vraie menace sanitaire pourrait intervenir à une autre échelle: celle des… nanoplastiques. *"Il n'y a aucune raison de penser que les microplastiques vont cesser de se fragmenter!"* lance Fabienne Lagarde. Au printemps, une équipe de chimistes français a mis en évidence, en laboratoire, ce phénomène de nanofracturation à partir de morceaux de polyéthylène de 1 à 2 mm récupérés dans l'Atlantique Nord.

SHUTTERSTOCK

TRAVERSER LA BARRIÈRE INTESTINALE

Des nanofragments qui ne sont jamais pris en compte dans les analyses: *"Les océanographes utilisent généralement des 'filets manta' avec des mailles larges de 0,33 mm destinés à l'origine à la capture du plancton; les diamètres inférieurs ne sont donc pas captés"*, fait remarquer Fabienne Lagarde. Récupérer et déceler ces infimes fragments synthétiques en milieu naturel pose pour l'instant des problèmes techniques considérables.

Or, ces nanoplastiques pourraient, à l'image de certaines nanoparticules manufacturées, traverser nos barrières intestinales et porter leur contamination jusque dans notre système circulatoire, nos organes, voire nos cellules. *"Il n'existe pour l'instant aucune publication exploitable dans ce domaine,* reconnaît Alain-Claude Roudot. *On sent que l'on a mis le doigt sur un sujet mais on ne sait pas jusqu'où cela pourrait nous mener." "Le nanoplastique est en train de devenir le nouveau champ de recherche brûlant,* insiste Fabienne Lagarde. *Le nombre de ces particules est amené à se multiplier de manière exponentielle, au fil des fragmentations et des apports nouveaux de plastique. Ce n'est que le début…"*

Le début d'une invasion qui, non content d'avoir pénétré les abysses, les rivières, les lacs de montagne et le pollen des fleurs, pourrait se prolonger jusque dans les plus petits recoins du corps humain.

Et nous n'avions rien vu…

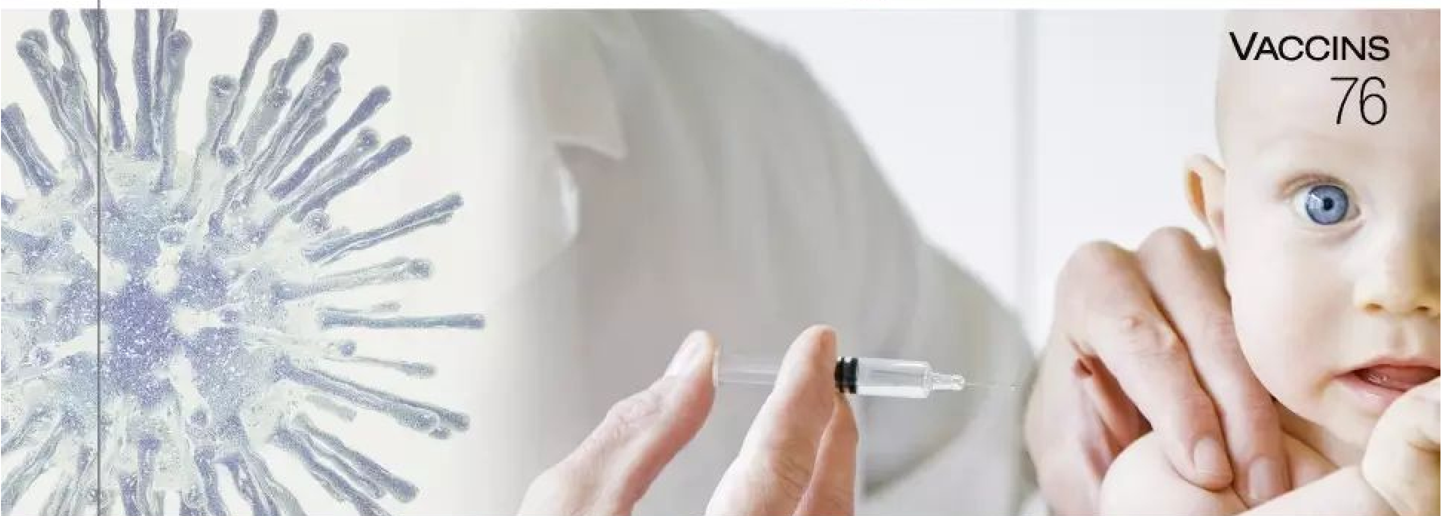


EN SAVOIR PLUS

A lire : les études mentionnées dans l'article et quelques rapports éloquents sur ce raz-de-marée.

science-et-vie.com

Science & techniques







SHUTTERSTOCK - VOISIN/PHANIE - CHRISTOPHE PETIT TESSON/EPA/MAXPPP

DIPHTÉRIE, TÉTANOS, POLIO…

ET SI ON ARRÊTAIT DE SE VACCINER

La question n'est pas que de pure forme. Alors que 38 % des Français se disent aujourd'hui défavorables à la vaccination, **Lise Barnéoud** a voulu savoir ce qui se passerait si on ne se vaccinait plus. Tétanos, coqueluche, rougeole… Elle a passé au crible les scénarios de 14 infections. Attention : ce n'est plus de la fiction !



Contexte

Jamais la défiance envers les vaccins n'a atteint de tels sommets en France. Une rénovation de notre politique vaccinale est en cours. Les propositions sont attendues pour décembre 2016.

SHUTTERSTOCK - VOISIN/PHANIE



Que se passerait-il si les Français se détournaient massivement des vaccinations? La question peut paraître provocatrice; pourtant, aujourd'hui, en France, la défiance envers les vaccins ne cesse de croître. Selon le baromètre santé 2015, environ 38 % de la population se dit "plutôt" ou "tout à fait" défavorable à la vaccination. Et début 2016, l'Institut de veille sanitaire s'alarmait d'une diminution de 5 % de la couverture vaccinale du nourrisson depuis 2014. Quant au ministère, il annonce une refonte de la politique vaccinale d'ici à la fin de l'année. En jeu? Entre autres, l'abandon de "l'obligation" de se vacciner contre la diphtérie, le tétanos et la poliomyélite.

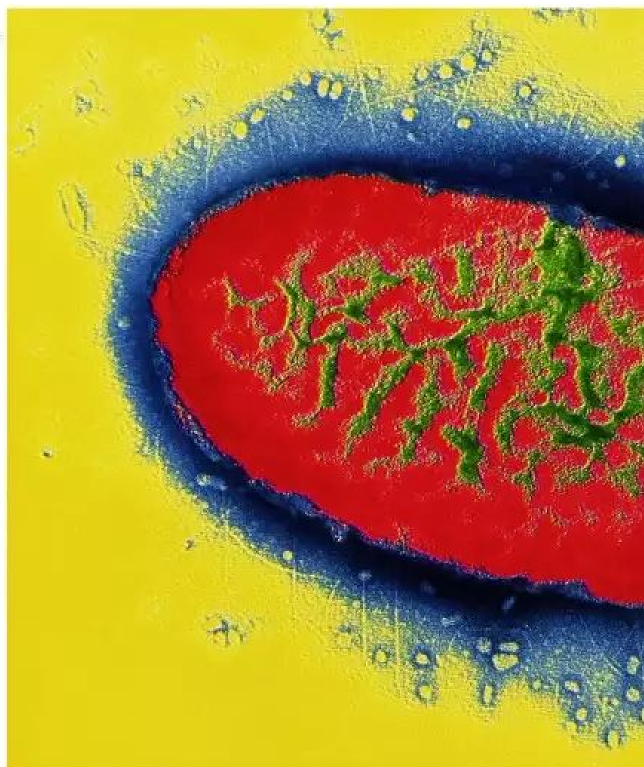
UNE POLITIQUE ILLISIBLE

Il faut dire que la logique de cette politique est difficile à saisir! Certaines maladies pour lesquelles le vaccin est simplement "recommandé" (rougeole, coqueluche…) présentent une mortalité et un nombre de cas supérieurs à la diphtérie ou au tétanos, pourtant obligatoires. Sans compter que les vaccins obligatoires sont vendus sous forme combinée avec d'autres qui ne le sont pas… Impossible donc de se limiter aux seules vaccinations imposées.

"*Les obligations vaccinales actuelles ne sont ni pertinentes ni lisibles. Elles relèvent uniquement d'un contexte historique,* indique la sénatrice Sandrine Hurel dans son rapport de janvier 2016: *le statu quo actuel n'est plus possible.*" La France compte d'ailleurs parmi les derniers pays européens à imposer des vaccinations.

Imaginons dès lors que les obligations vaccinales soient abandonnées en France. Quelles en seraient les conséquences? Nombreux sont les experts à craindre qu'une telle décision, dans ce contexte de défiance, aboutisse à une diminution du nombre de personnes protégées. D'autant que, selon une enquête de la direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques menée en 2015, un quart des médecins eux-mêmes expriment des doutes à l'égard des risques et de l'utilité de certains vaccins. On peut donc aisément imaginer qu'ils n'insisteront pas auprès des familles sur la nécessité de continuer à vacciner leurs enfants si rien ne les y oblige plus.

Sans parler de la couverture vaccinale contre la grippe, qui chute sans discontinuer chez les seniors depuis le fiasco de la grippe pandémique H1N1 en 2009; tout comme celle contre les papillomavirus humains qui diminue régulièrement chez les jeunes filles depuis 2010… Quelles seraient les conséquences sanitaires, maladie par maladie, d'un abaissement plus marqué encore des différentes couvertures vaccinales? Pour tenter de répondre à cette question cruciale, nous avons analysé des exemples récents, en France ou dans des pays ayant connu des situations qui pourraient être similaires à la nôtre. Si le résultat de ces scénarios diffère en fonction des maladies, une chose est certaine, il ne s'agit plus là de pure fiction!



Et si on ne se vaccinait plus contre…

LE TÉTANOS

Le nombre de victimes exploserait. Pour imaginer les conséquences, il suffit de se rappeler que dans les années 1940, avant la généralisation du vaccin, cette maladie du système nerveux touchait plus de 200 fois plus de Français qu'aujourd'hui (2,5 pour 100 000 par an). Certes, les conditions d'hygiène n'étaient pas les mêmes et les plaies sont aujourd'hui mieux traitées. Toutefois, *"environ 15 infections surviennent encore chaque année en France, dont 4 décès, surtout chez les personnes âgées insuffisamment vaccinées"*, estime Daniel Levy-Bruhl, à l'InVS. L'agent pathogène du tétanos est en effet toujours présent dans notre environnement. En 2015, un enfant de 9 ans, non vacciné, a passé deux mois en soins intensifs à cause d'un tétanos.

TÉTANOS
Aucune transmission
TAUX DE MORTALITÉ **25 %**
NOMBRE DE CAS PAR AN **15 en moyenne**
COUVERTURE VACCINALE **98,4% en 2014**

SHUTTERSTOCK - A. DOWSETT, PUBLIC HEALTH ENGLAND/SPL/COSMOS - CNRI/SPL/COSMOS - CDC/SPL/COSMOS

Et si on ne se vaccinait plus contre…

LA COQUELUCHE

Une dangereuse recrudescence. Que se passerait-il si les Français arrêtaient massivement de se vacciner contre cette maladie respiratoire, responsable de quintes de toux prolongées, parfois mortelles chez le nourrisson? Un exemple peut en donner une idée. En 1975, soupçonné d'effets secondaires graves, son vaccin est suspendu au Japon. Le taux de couverture vaccinale chute brutalement de 80 à 10 % et le nombre de cas explose, passant de 370 et 0 décès en 1970 à plus de 13000 cas et 41 morts en 1979… Avant qu'un autre type de vaccins, dits acellulaires, présentant moins d'effets secondaires, soit généralisé dans la plupart des pays occidentaux. Problème: à partir des années 90, plusieurs de ces pays (Royaume-Uni, Etats-Unis, Canada, Australie…) observent une augmentation du nombre de nourrissons et jeunes enfants hospitalisés pour coqueluche, malgré des couvertures vaccinales élevées. Plusieurs études pointent du doigt une moindre efficacité de ces nouveaux vaccins (les taux de protection des meilleurs ne dépassent pas 85 %) ainsi qu'une immunité induite de plus courte durée. D'où la mise en place de rappels vaccinaux dans certains pays, comme la France. D'autres études montrent également que les bactéries responsables de la coqueluche évoluent rapidement, et ne sont plus reconnues par le système immunitaire des personnes vaccinées. En 2012, 41 000 cas de coqueluche, dont 18 morts, étaient rapportés aux Etats-Unis, le plus haut taux depuis soixante ans…

COQUELUCHE
1 malade contamine 15 personnes environ
TAUX DE MORTALITÉ **0,2 % et 1,7 % avant 6 mois**
NOMBRE DE CAS PAR AN **environ 400**
COUVERTURE VACCINALE **98 % en 2014**

Et si on ne se vaccinait plus contre…

LA POLIOMYÉLITE

La maladie du passé ressurgirait. Prenons un exemple dans un pays aux conditions sanitaires similaires aux nôtres: les Pays-Bas, et plus précisément une région ultracalviniste fortement opposée à la vaccination, où la couverture vaccinale est bien moindre que dans le reste du pays. En 1992, une sévère épidémie de poliomyélite y a provoqué 59 paralysés à vie et 2 décès. En 2013, cette région située au nord d'Amsterdam a même dû refuser d'accueillir des réfugiés syriens de crainte d'une nouvelle épidémie de polio… Le virus de la poliomyélite circule en effet encore dans le monde, et à moins d'avoir des frontières totalement hermétiques, des cas importés peuvent déclencher une épidémie dans une population non vaccinée. En 2014, 371 cas ont ainsi été notifiés à l'OMS, surtout au Pakistan et en Afghanistan, où les couvertures vaccinales restent faibles. Et en 2015, ce sont deux cas qui ont aussi été rapportés en Ukraine.

POLIOMYÉLITE
1 malade contamine 6 personnes environ
TAUX DE MORTALITÉ **0,05 %; paralysie 0,5-1 %**
NOMBRE DE CAS PAR AN **0**
COUVERTURE VACCINALE **98,4 % en 2014**



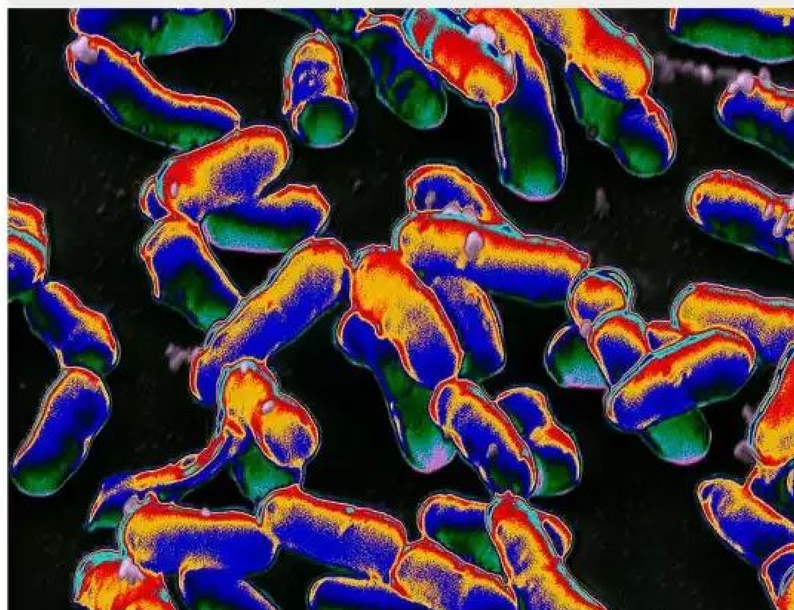


Et si on ne se vaccinait plus contre…

LA DIPHTÉRIE

Des foyers d'infection renaîtraient. Si nous vivions totalement refermés sur nous-mêmes, sans le moindre contact hors de nos frontières, peut-être aurions-nous la chance de ne pas voir ressurgir cette infection grave des voies respiratoires. Sans un isolement total, un recul massif de la vaccination entraînerait automatiquement le retour de foyers d'infection. Ainsi, en 2015 en Espagne, un enfant de 6 ans, volontairement non vacciné par ses parents, a succombé à la diphtérie. Si l'origine de la contamination reste inconnue, on sait en revanche que cet enfant en a infecté au minimum 8 autres de son âge pendant un séjour en camp de vacances. Ceux-ci étaient tous vaccinés et n'ont donc pas développé la maladie. Cette même année, 7 infections ont également été rapportées au Danemark, en Suède et en Allemagne chez des personnes réfugiées. Chaque fois, le vaccin a fait rempart contre la maladie dans le reste de la population et l'histoire s'est arrêtée là. Mais plusieurs foyers infectieux subsistent dans le monde, notamment en Inde, en Asie du Sud-Est et en Afrique. En 2014, 7500 cas ont ainsi été rapportés dans le monde, dont 38 en Europe (principalement en Lituanie). Le risque est donc vraiment trop grand pour se passer de vaccin.

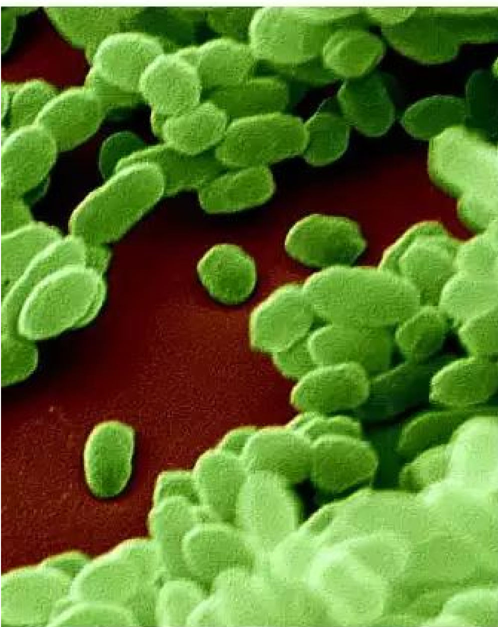
DIPHTÉRIE
1 malade contamine 6 personnes environ
TAUX DE MORTALITÉ **entre 5 et 10 %**
NOMBRE DE CAS PAR AN **entre 0 et 3 cas**
COUVERTURE VACCINALE **98,4% en 2014**



Et si on ne se vaccinait plus contre…

LA GRIPPE

Des centaines de décès en plus. Si l'on s'en tient aux statistiques, la vaccination recule nettement depuis le fiasco de la campagne contre la grippe H1N1 en 2009. Pourtant, on ne voit pas de tendance à plus de consultations pour grippe, ni plus de cas graves ou de décès liés à ces virus (mais ces comptages sont complexes). En réalité, l'efficacité du vaccin pour réduire la mortalité grippale a été estimée à seulement 35 % !
Il n'empêche, l'InVS estime qu'entre 2000 et 2009, avec une couverture vaccinale de 62 %, la vaccination a permis d'éviter chaque saison quelque 2500 décès chez les plus de 65 ans. En actualisant ces données avec une couverture de 47 %, et sous l'hypothèse d'épidémies identiques à celles de 2000-2009, les chercheurs concluent que cette diminution pourrait entraîner 500 décès de plus. Ainsi, ce vaccin permettrait d'éviter 1 décès sur… 2561 vaccinés.

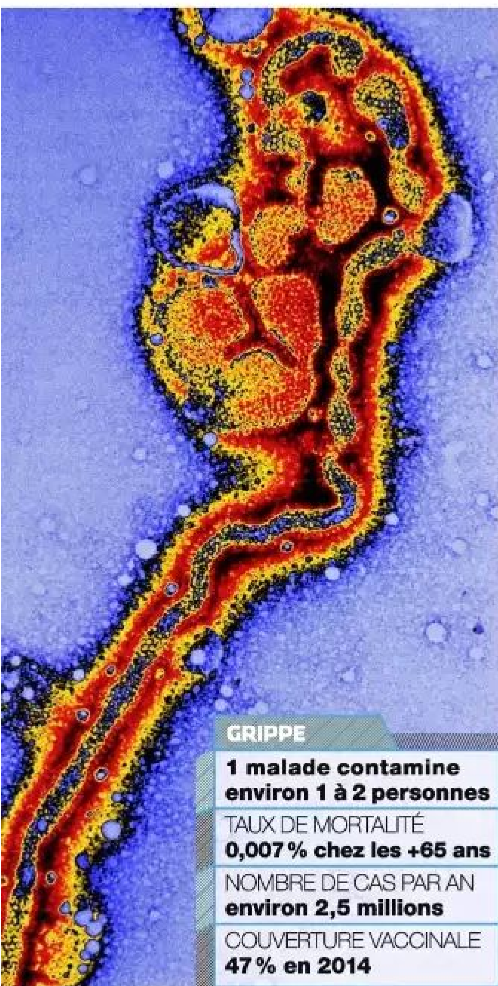


Et si on ne se vaccinait plus contre…

HAEMOPHILUS INFLUENZA B

Un risque individuel comme collectif. Il est aisé d'estimer les conséquences d'une non-vaccination contre *Haemophilus influenzae b* (Hib) vu que cette vaccination n'a été introduite en France qu'en 1992. Que se passait-il avant ? Dans les années 1980, on comptait environ 1000 infections par an, dont 600 méningites et une trentaine de décès. Trois ans après l'introduction du vaccin, l'incidence des infections à Hib a été divisée par 2 et celle des méningites par 10. Aujourd'hui, on ne recense plus que 1 ou 2 décès par an, surtout chez les enfants de moins de 1 an non vaccinés. Vu l'agressivité de cette bactérie (3 % de mortalité et de 10 à 15 % de séquelles neurologiques), une baisse de la couverture vaccinale représenterait clairement un désavantage collectif et individuel.

H. INFLUENZA B
1 malade contamine 2 personnes environ
TAUX DE MORTALITÉ **3 %**
NOMBRE DE CAS PAR AN **600 dont 60 méningites**
COUVERTURE VACCINALE **97,3 % en 2014**



GRIPPE
1 malade contamine environ 1 à 2 personnes
TAUX DE MORTALITÉ **0,007 % chez les +65 ans**
NOMBRE DE CAS PAR AN **environ 2,5 millions**
COUVERTURE VACCINALE **47 % en 2014**



Et si on ne se vaccinait plus contre…

LA ROUGEOLE

Un désavantage pour les plus fragiles. Pour évaluer les effets de ce scénario, il suffit d'observer ce qui se passe actuellement. Notre couverture n'est que de 75 % au lieu des 95 % nécessaires à une protection des nourrissons qui ne sont pas encore vaccinés et des personnes immunodéprimées qui ne peuvent l'être. L'épidémie qui a sévi entre 2008 et 2013 a provoqué 24 000 cas, dont 5 300 hospitalisations, plus de 1 500 complications graves et 10 décès, dont 7 chez des immunodéprimés. Arrêter cette vaccination pourrait être fatal aux plus fragiles qui ne peuvent se vacciner.

ROUGEOLE
1 malade contamine 18 personnes environ
TAUX DE MORTALITÉ **0,04 %**
NOMBRE DE CAS PAR AN **15 000 (2011); 267 (2014)**
COUVERTURE VACCINALE **66 % en 2014**

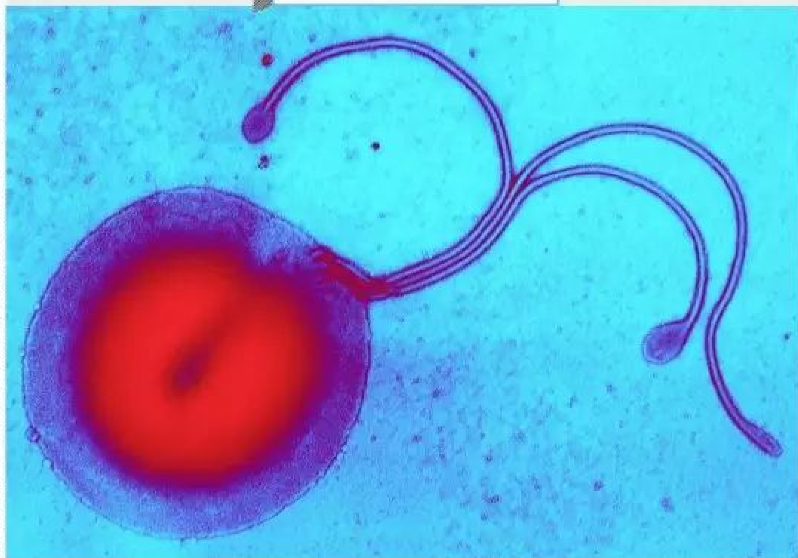


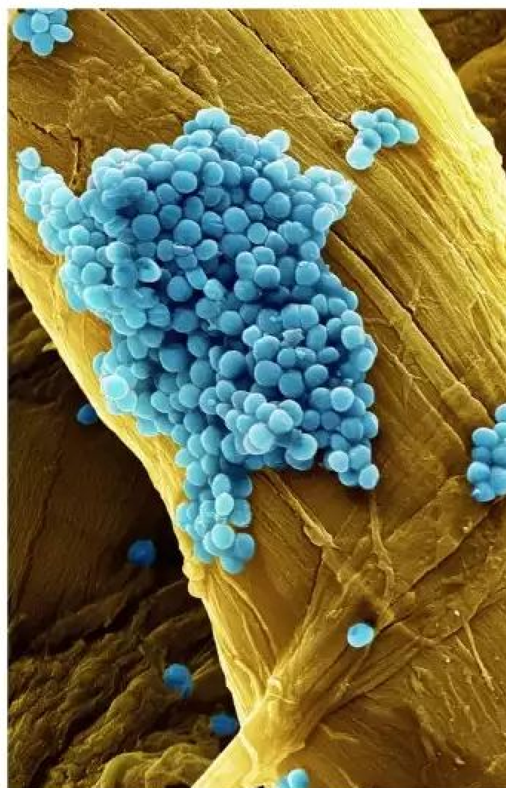
Et si on ne se vaccinait plus contre…

LES INFECTIONS INVASIVES À MÉNINGOCOQUE C

Plus de décès dès 2020. *"Il faudrait attendre 4 à 5 ans pour voir une recrudescence des cas d'infection (méningites, septicémies…)"*, prédit Isabelle Parent, médecin à l'unité des infections respiratoires et vaccination de Santé publique France. Pourquoi une telle latence? Parce que ces infections connaissent naturellement des cycles de 7 à 10 ans et que le dernier pic d'infection date de 2012-2014 (avec une moyenne annuelle de 120 cas dont 14 décès). A noter que ce dernier pic est survenu malgré l'introduction du vaccin dans la population générale en 2010. En cause: une couverture des adolescents et jeunes adultes qui reste faible (23% chez les 15-19 ans et 6% chez les 20-25 ans), alors que c'est dans ces tranches d'âge que le taux de personnes porteuses de la bactérie est le plus élevé. Il y a fort à parier que si la couverture vaccinale s'infléchissait encore, on pourrait s'attendre, vers 2020, à voir apparaître un nombre de victimes semblable au pic de 2001-2004 (moyenne annuelle de 210 cas dont 36 morts). En Espagne, au Royaume-Uni ou aux Pays-Bas, où des campagnes de vaccination généralisée auprès des enfants et des adolescents ont débuté entre 1999 et 2002 (le taux de couverture dépasse aujourd'hui 85%), une réduction de plus de 80% des cas a été rapportée en l'espace de trois ans.

MÉNINGOCOQUE C
1 malade contamine environ 1 à 2 personnes
TAUX DE MORTALITÉ **13%**
NOMBRE DE CAS PAR AN **80 à 250**
COUVERTURE VACCINALE **64% en 2014**





Et si on ne se vaccinait plus contre…

L'HÉPATITE B

Fatal pour les personnes à risque. Cela entraînerait inévitablement des nouveaux cas d'infections et des décès en plus parmi les groupes à risque (partenaires sexuels multiples, homosexuels, usagers de drogues, ressortissants de pays à forte prévalence, séjours dans ces pays). Mais cela aurait aussi un impact hors de ces groupes. Les experts soulignent que pour 40% des cas d'hépatite B aiguë diagnostiqués en France en 2013, aucun lien avec une pratique à risque n'a pu être établi. Pourtant notre pays fait face à une résistance durable à cette vaccination, suite à des cas de sclérose en plaque notifiés chez des sujets vaccinés dans les années 1990. Et les

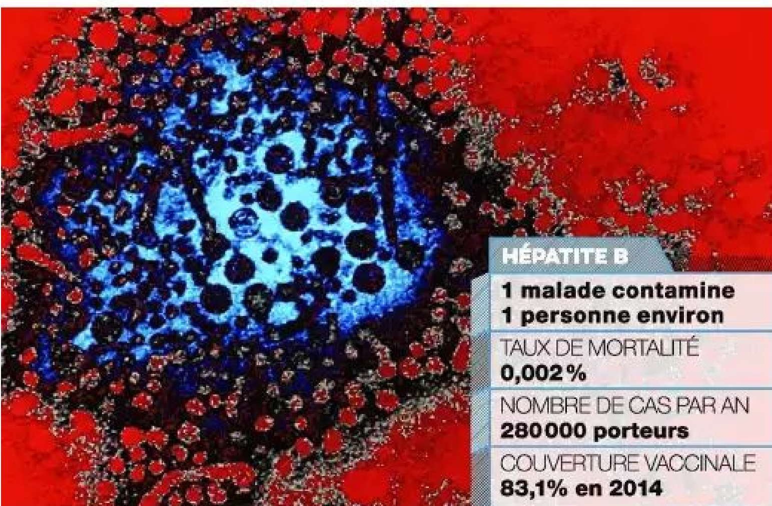
SHUTTERSTOCK - STEVE GSCHMEISSNER/SPL/COSMOS - BIOMEDICAL IMAGING UNIT, SOUTHAMPTON GENERAL HOSPITAL/SPL/COSMOS - CUSTOM MEDICAL STOCK PHOTO/SPL/COSMOS

Et si on ne se vaccinait plus contre…

LES INFECTIONS INVASIVES À PNEUMOCOQUE

Un dangereux retour en arrière. Arrêter cette vaccination reviendrait en France à se retrouver dans une situation identique à la période pré-2003, année d'arrivée du vaccin. Pour les moins de 2 ans, chez qui la vaccination est systématiquement proposée, on est passé de plus d'une centaine de méningites à 33 en 2014. Dans les autres tranches d'âge – non visées par la vaccination –, on a d'abord observé une augmentation d'infections dues à l'émergence de souches de pneumocoque non incluses dans le vaccin. Jusqu'à ce qu'un nouveau vaccin contenant non plus 7 souches mais 13 permette de corriger cet effet pervers dès 2010 et de réduire la circulation de ces bactéries dans toutes les tranches d'âge. Ce qui a pour effet de réduire les infections invasives (méningites…) mais aussi des formes moins graves (certaines otites, sinusites ou bronchites)…

PNEUMOCOQUE
1 malade contamine 2 personnes environ
TAUX DE MORTALITÉ **10 %**
NOMBRE DE CAS PAR AN **4000 à 6000**
COUVERTURE VACCINALE **89,3 % en 2014**



HÉPATITE B
1 malade contamine 1 personne environ
TAUX DE MORTALITÉ **0,002 %**
NOMBRE DE CAS PAR AN **280 000 porteurs**
COUVERTURE VACCINALE **83,1% en 2014**

campagnes de vaccination en milieu scolaire ont même été stoppées. Alors qu'aucune étude n'a permis d'affirmer l'existence d'un risque significatif du vaccin, la couverture vaccinale reste faible : moins de 84 % des nourrissons (objectif : 95 %) et moins de 50 % des adolescents en 2014. Aujourd'hui, on estime à 280 000 le nombre de personnes porteuses du virus en France. Chaque année, environ 1 300 morts seraient directement dues à l'hépatite B. C'est beaucoup, mais sans vaccin, ce serait encore beaucoup plus.

Et si on ne se vaccinait plus contre…

LES OREILLONS

Une diminution de la couverture vaccinale n'entraînerait probablement aucun mort supplémentaire. En revanche, plusieurs centaines de garçons contaminés après la puberté souffriraient d'une inflammation douloureuse des testicules. Celle-ci se traduit dans 15 à 25 % des cas par une atrophie testiculaire irréversible pouvant altérer la fertilité (la stérilité est toutefois rarissime).

LA RUBÉOLE

Le risque concerne les nouveau-nés : lorsque les mères sont infectées durant leur grossesse, 30 % des bébés naissent avec une malformation. Avant la généralisation du vaccin, en 1983, on comptait environ 30 cas d'infections maternelles pour 100 000 naissances (contre moins de un actuellement). Cela reviendrait aujourd'hui à environ 8 nouveau-nés malformés à cause de la rubéole chaque année.

LES INFECTIONS À PAPILLOMAVIRUS

Il n'y a pas assez de recul pour estimer l'impact de la vaccination sur les cancers du col de l'utérus… et pour cause : ce vaccin n'a été introduit qu'en 2006 et les cancers ne se forment que plusieurs années, voire plusieurs décennies après une infection. Toutefois, les taux de couverture sont si faibles en France qu'une diminution passerait inaperçue.

LA TUBERCULOSE

L'important est de maintenir une couverture élevée avec le BCG parmi les groupes à risque (en provenance de zones de forte endémie ou vivants dans la pauvreté ou chez les personnes immunodéprimées).



EN SAVOIR PLUS

A lire : *Vaccination : agression ou protection ?* par A. Guimezanes et M. Mathieu, éd. Le Muscadier/Inserm.
S&V Hors-série, décembre 2016 (à paraître).

science-et-vie.com

Traumatisme psychique

Un médicament pour aider à oublier

Comment aider les rescapés d'attentat à surmonter leur traumatisme ? En associant à la psychothérapie une molécule très connue contre l'hypertension : le propranolol. Les explications de **Marie-Catherine Mérat.**

Il y a des épisodes de vie qu'on préférerait oublier. Dans une France victime d'attentats à répétition, le traumatisme est toujours plus vivace. On estime que des milliers de personnes sont touchées psychiquement. Des événements qui remettent sur le devant de la scène une pathologie que les psychiatres connaissent bien : l'état de stress post-traumatique (ESPT). Souvenirs intrusifs et incontrôlables, anxiété, évitement de toute situation rappelant de près ou de loin le traumatisme… composent le quotidien de celles et ceux qui en souffrent. De 20 à 25 % des victimes d'un événement ayant mis leur vie en péril – guerre, attentat, agression, accident… – développeront un ESPT dans les semaines ou mois qui suivent.

Pour étouffer ces souvenirs qui les poursuivent, combien rêveraient d'avaler une simple pilule ? Ce n'est plus tout à fait de la science-fiction, car un traitement est à l'essai. Il semble en effet possible aujourd'hui de modifier, d'atténuer, presque d'effacer des souvenirs à l'aide de certains médicaments.

Le plus prometteur d'entre eux, le propranolol, fait même l'objet d'une étude clinique sans précédent. Débutée en juin et baptisée Paris MEM, elle associe l'Assistance publique-Hôpitaux de Paris et l'université canadienne McGill et implique une dizaine de centres et hôpitaux franciliens.

Le nom du propranolol ne vous est peut-être pas inconnu. Développé dans les années 1960, ce bêtabloquant est prescrit à des millions de personnes dans le monde souffrant d'hypertension. Depuis

Repères

Le terme "état de stress post-traumatique" (ESPT) est apparu en 1980, pour qualifier notamment les troubles psychiques des anciens combattants du Vietnam. Il concerne 20 à 25 % des victimes d'un événement ayant mis leur vie en péril. Des traitements existent, mais ils sont insuffisants, et les rechutes sont fréquentes.

des décennies, la molécule fait donc l'objet d'une surveillance sur sa sécurité et sa bonne tolérance par les patients.

UN USAGE DÉTOURNÉ

Surtout, il y a une vingtaine d'années, plusieurs neuroscientifiques se sont aperçus que les récepteurs sur lesquels le propranolol agit dans le cerveau semblent jouer un rôle dans la mémorisation. A peine découverte, cette propriété suscite l'intérêt des psychiatres qui travaillent avec des personnes rendues malades par leurs souvenirs traumatiques.

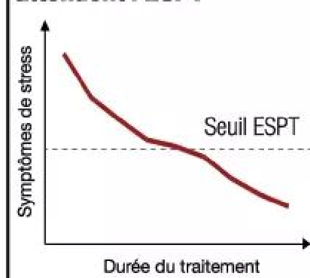
Le principe de l'utilisation du médicament est simple: *"Il s'agit d'amener le patient à repenser au trauma sous l'influence du propranolol"*, résume Alain Brunet, professeur de psychiatrie à l'université McGill et conseiller scientifique du projet Paris-MEM, l'un des premiers à avoir fait un usage "détourné" du propranolol.

Le protocole adopté par l'étude parisienne, Alain Brunet le connaît bien, il y travaille depuis des années. Il se compose de six séances de dix minutes, chacune précédée, une heure avant, de la prise d'un comprimé de propranolol. Au cours de la première séance, le patient est invité à consigner par écrit les événements à l'origine de son ESPT. Puis, chaque semaine, il avale →

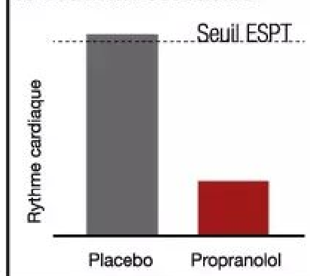
CHRISTOPHE PETIT TESSON/EPA/MAXPPP - M.KONTENTE

DE L'HYPERTENSION À L'ÉTAT DE STRESS POST-TRAUMATIQUE
Le propranolol, traitement classique contre l'hypertension, se révèle efficace contre les symptômes psychiques qui peuvent survenir après un événement traumatisant.

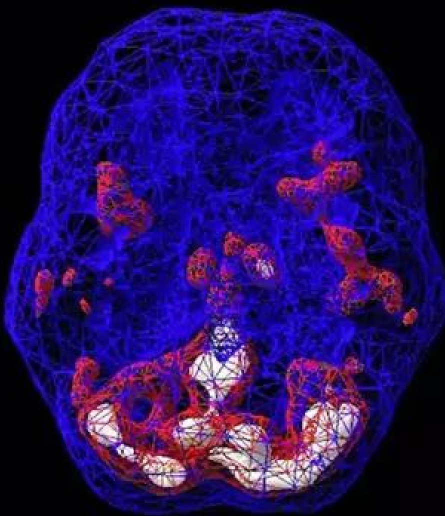
6 séances sous propranolol atténuent l'ESPT



Le cœur ralentit lorsque le souvenir est ravivé



L'ESPT se lit dans le cerveau



La tomographie d'émission monophotonique permet de repérer les zones du cerveau où l'activité est la plus intense. Chez les personnes atteintes d'ESPT, on peut ainsi voir celles qui sont suractivées : notamment le cortex cingulaire antérieur, qui joue un rôle dans le contrôle des émotions, les ganglions de la base ou encore le thalamus, impliqué dans la vigilance.

CERVEAU SAIN

un comprimé avant de relire à haute voix son récit initial. *"Au bout de six séances, l'état de deux tiers des patients est amélioré, ce qui est la marque d'un excellent traitement en psychiatrie"*, rapporte Alain Brunet, qui a mené plusieurs études cliniques basées sur ce même protocole. Hypervigilance, sommeil perturbé, réminiscences… : la gravité des symptômes est réduite de plus de 50 % et le "score" d'ESPT, basé sur l'évaluation de dix-sept d'entre eux, diminue nettement au fil des séances (voir graphique, p. 85).

FRAGILISER LE SOUVENIR

Et pour cause, *"le propranolol bloque la reconsolidation du souvenir"*, affirme Alain Brunet. En effet, lorsqu'un souvenir se forme, il est d'abord fragile. Pour être maintenu en mémoire, il doit être consolidé. Certaines connexions entre neurones, les synapses, doivent pour cela être renforcées dans l'hippocampe, petite région nichée au cœur du cerveau où se forme la mémoire épisodique, celle des événements de notre vie.

Cette consolidation implique toute une cascade de processus moléculaires, l'activation de gènes, la synthèse de protéines… Un phénomène auquel prend activement part une autre structure cérébrale, l'amygdale, qui jauge le contenu émotionnel de ce que nous vivons et renforce, le cas échéant (événements effrayants, heureux), le stockage du souvenir. Ce processus de consolidation prend de plusieurs heures à quelques jours.

Pendant des dizaines d'années, les scientifiques pensaient que tout s'arrêtait là, qu'une fois stabilisé, le souvenir ne changeait plus. Que l'événement était ainsi comme gravé dans le marbre de notre esprit. Mais la fin des années 1990 sonne le glas de ce dogme. Le neuroscientifique Karim Nader et son équipe de l'université McGill comprennent que lorsqu'un souvenir est rappelé, il redevient fragile pour quelques heures. Pour se maintenir, il doit alors être restabilisé grâce à une nouvelle batterie de processus moléculaires.

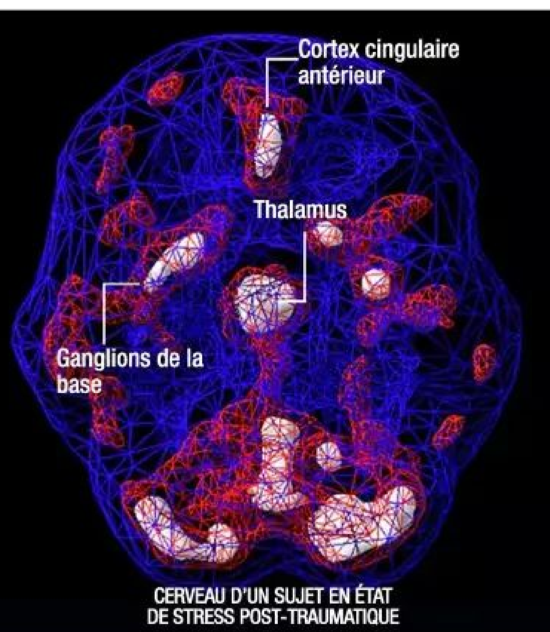
Dès lors, germe l'espoir de bloquer chimiquement ce phénomène de reconsolidation afin de perturber, voire d'effacer totalement un souvenir, et notamment un souvenir douloureux, traumatique. Très vite après la découverte du processus de reconsolidation, des travaux sont initiés chez l'animal, qui attestent le succès d'une telle approche. Seul problème, les substances utilisées sont toxiques pour l'homme, sans compter qu'il faut les injecter directement dans le cerveau.

Les scientifiques envisagent alors d'utiliser des molécules pharmacologiques déjà commercialisées. Dans le lot de candidats potentiels, le propranolol semble particulièrement prometteur, car il peut agir directement sur le cerveau en traversant la barrière hémato-encéphalique, qui protège le système nerveux central. De plus, il est déjà connu pour se fixer sur les récepteurs de la noradrénaline – un neurotransmetteur (voir Jargon) – dans l'amygdale, région cérébrale cruciale dans la consolidation des souvenirs chargés en émotion.

Autant de caractéristiques intéressantes pour lutter précisément contre l'ESPT, lié à un souvenir au contenu émotionnel hors norme. En effet, lorsque survient le choc (agression, attentat…), le cerveau est littéralement inondé de noradrénaline qui, en se fixant sur ses récepteurs dans l'amyg-

Jargon

La noradrénaline est un neurotransmetteur et une hormone qui nous permet de répondre à un danger. Face à un stress intense, elle est libérée dans le cerveau et relarguée dans le sang, où elle prépare l'individu à la fuite en entraînant des changements physiologiques : augmentation du rythme cardiaque, dilatation de la pupille…



CERVEAU D'UN SUJET EN ÉTAT DE STRESS POST-TRAUMATIQUE

dale, la suractive, renforçant le stockage du souvenir traumatique. Une mécanique qui s'enclencherait à chaque rappel angoissé de l'événement dramatique.

"L'idée initiale était de donner ce médicament après réactivation du souvenir traumatique, de façon à interférer avec le processus de réencodage et à perdre ainsi ce souvenir", explique la neurobiologiste Pascale Gisquet-Verrier, qui étudie l'ESPT à l'Institut des neurosciences Paris-Saclay, à Orsay.

Cependant, les premières études menées chez l'homme à la fin des années 2000 sont décevantes : une seule injection de propranolol n'a pas l'air suffisante. Aujourd'hui, le protocole est au point. Il ne vise plus à effacer le souvenir traumatique mais simplement à affaiblir sa "valence émotionnelle". Après un traitement au propranolol, l'aspect épisodique du souvenir – la collection des faits qui se sont produits – n'apparaît pas affecté. Ce que semblent confirmer les patients.

Comme le rapporte le psychiatre Philippe Birmes, qui explore le potentiel du propranolol depuis 2007 au Laboratoire du stress traumatique, à Toulouse, *"certaines personnes nous disent, quand elles relisent leur scénario traumatique : 'Je sais que ça m'est arrivé, que c'est mon histoire, mais quand je le relis, je ne le revis plus comme avant. Avant, quand j'y repensais, j'avais à nouveau des douleurs, les larmes aux yeux, le souffle coupé, c'était abominable.' Le discours de ces patients est qu'effectivement ils n'ont pas oublié, mais que l'événement devient un peu comme un souvenir de la vie de tous les jours"*.

IL CALME LES PALPITATIONS

Pour Alain Brunet, *"on sait que la molécule bloque la reconsolidation chez l'animal et chez l'humain. Quant à savoir exactement comment elle le fait… Vous savez, on ne sait toujours pas comment fonctionnent les antidépresseurs, malgré cinquante ans de recherche"* !

D'ailleurs, pour expliquer les formidables effets de ce composé, une toute nouvelle hypothèse est avancée. Plutôt que de bloquer la reconsolidation au niveau des neurones, le médicament agirait en réactualisant le souvenir dans un contexte beaucoup plus paisible. *"Les gens qui ont le trac en prennent avant d'entrer sur scène car il calme les palpitations cardiaques, atténue la moiteur, etc. C'est un anxiolytique non sédatif qui ralentit le cœur. A mon avis, son effet est là"*, avance Pascale Gisquet-Verrier.

Sous l'influence du composé, les sujets associeraient le souvenir traumatique non plus à des palpitations et une vague de stress intense, mais à un sentiment de quiétude et de sécurité qui les amènerait à restocker un souvenir légèrement modifié, beaucoup moins violent sur le plan émotionnel. Or, cette transformation de la trace mnésique serait durable, comme l'attestent les travaux du neuroscientifique Marijn Kroes, au Center for Neural Science de l'université de New York. *"Quoi que vous fassiez, la peur ne revient pas. Les données suggèrent que le souvenir original n'est pas atténué, mais que le médicament a permis au patient de comprendre que dans ce* →



ALAIN **BRUNET**
Professeur de psychiatrie à l'université McGill (Canada)

Le propranolol diminue la valence émotionnelle du souvenir traumatique sans pour autant l'effacer



D.AMEN ET AL. - SARAH MONGEAU-BIRKETT

nouveau contexte – le cabinet du thérapeute –, la situation est désormais sûre."

Ce mode d'action, s'il est avéré, ne serait alors pas restreint au propranolol. *"A partir de l'hypothèse de remodelage émotionnel, on peut penser que d'autres traitements qui jouent sur la valence émotionnelle pourraient être tout aussi efficaces, voire plus efficaces que le propranolol"*, pense Pascale Gisquet-Verrier.

Des molécules aux effets anxiolytiques, relaxants, il en existe beaucoup. Bien d'autres composés ont d'ailleurs été testés pour traiter l'ESPT ces dernières années, comme la morphine ou la MDMA (plus connue sous le nom d'ecstasy), avec des résultats plutôt encourageants. Deux essais cliniques ont ainsi été menés en double aveugle sur cette dernière molécule – ni le patient ni le thérapeute n'avaient connaissance du traitement administré, MDMA ou placebo – qui montrent qu'elle "catalyse" la psychothérapie et permet ainsi de soigner des cas d'ESPT jusqu'alors réfractaires à tout traitement. Prazosine, mifépristone, D-cyclosérine, cortisone... Diverses molécules, aux modes d'action souvent hypothétiques, révèlent aussi des potentialités intéressantes pour traiter l'ESPT.

Le propranolol reste cependant, de loin, le plus étudié. Quel que soit le mécanisme par lequel il agit, psychiatres et neuroscientifiques s'accordent sur une chose: le protocole franco-canadien est bon et doit être tenté à grande échelle.

Stress post-traumatique et addiction, même combat ?

Et si l'état de stress post-traumatique (ESPT) et l'addiction étaient les deux faces d'un même dérèglement cérébral ? Ces pathologies présentent en effet des ressemblances *"liées au fait que dans les deux cas, il s'agit de souvenirs pathologiques"*, observe Pascale Gisquet-Verrier, dont l'équipe teste cette hypothèse. Premier élément commun: un ressenti hors norme, peur intense ou plaisir intense. Autre similitude: seule une partie de la population est touchée; autour de 20 % des personnes exposées à un événement traumatique déclenchent un ESPT, quand une minorité des usagers de drogues dures (23 % pour l'héroïne, 17 % pour la cocaïne...) deviennent dépendants. Par ailleurs, les sujets souffrant d'ESPT sont plus susceptibles de développer une addiction, tandis que les personnes dépendantes ont plus de risques de souffrir d'un ESPT. Autre point commun: la sensibilité aux indices environnementaux; un couteau, une odeur peuvent déclencher un flash-back du traumatisme vécu; une seringue, un lieu suffisent à générer un désir de drogue. Enfin, les deux pathologies sont sujettes à la rechute. *"D'où l'idée que des traitements efficaces dans l'addiction devraient l'être aussi dans l'ESPT."*

TRAITEMENT DE RÉFÉRENCE

Pilotée par le psychiatre Bruno Millet à la Pitié-Salpêtrière, l'étude Paris-MEM envisage à terme d'inclure 400 patients et de comparer l'efficience (rapport coût/efficacité) de la méthode Brunet à celle du traitement "classique" (psychothérapie et/ou antidépresseurs).

"Les participants pourront choisir leur traitement, précise Alain Brunet. *On s'attend à ce qu'ils optent pour le propanolol dans un rapport de 3 pour 1."* Rapide – six séances au lieu d'une quinzaine pour une psychothérapie classique –, peu coûteuse – six comprimés seulement sont nécessaires et le médicament existe sous forme de générique –, la méthode, si elle est définitivement validée à l'issue de l'étude parisienne, pourrait devenir le traitement de référence de l'ESPT. *"Environ dix patients ont déjà été inclus, majoritairement à la Pitié-Salpêtrière. Il faut qu'une dynamique se mette en place, que l'on sache que cette étude a débuté"*, souligne Bruno Millet.

Les premiers résultats sont attendus pour janvier 2019.



EN SAVOIR PLUS

A voir : une vidéo décrivant le projet Paris MEM.

science-et-vie.com



Biocarburants
Les chiffres qui accablent

Pas si bons pour la planète ? Pour la première fois, un rapport européen estime l'impact des biocarburants de première génération sur les terres agricoles. Avec de lourdes conséquences sur le climat, révèle **Nathalie Picard.**

Ils devaient combattre le réchauffement climatique et nous permettre de rouler sans émettre de gaz à effet de serre. Telles étaient les promesses des biocarburants, le biodiesel et le bioéthanol produits à partir de cultures traditionnellement alimentaires comme le colza ou la canne à sucre, puis incorporés respectivement dans le gazole et l'essence. Mais, depuis la fin des années 2000, se succèdent des travaux remettant en cause ces prétendues vertus : finalement, ces biocarburants dits de première génération ne seraient pas si bons pour le climat.

Les résultats d'une nouvelle étude commandée par la Commission européenne à un groupement de cabinets d'études et d'organismes scientifiques indépendants viennent enfoncer le clou et sonnent comme

+3,5 %
d'émissions de gaz à effet de serre

+10
millions de voitures

A l'horizon de 2020, même plafonnée à 7 % comme l'a décidé la Commission européenne en 2015, l'incorporation de biocarburants pour répondre aux besoins européens se traduira par une hausse de 3,5 % des émissions de gaz à effet de serre. L'équivalent de 10 millions de voitures supplémentaires sur les routes…

∧ En 2020, le bioéthanol restera moins émetteur que l'essence (– 33 % de gaz à effet de serre), mais pas le biodiesel, qui émettra 81 % de plus que le diesel.

un enterrement de première classe. Ils apportent pour la première fois au niveau européen des chiffres précis sur un paramètre primordial – négligé jusque-là, en raison de la difficulté à le mesurer: le changement d'affectation des sols lié à la culture des plantes servant à la production de biocarburants.

DES ÉMISSIONS CACHÉES

Au départ, le principe semblait pourtant simple: le CO_2 dégagé lors de la combustion des biocarburants est compensé par celui absorbé par les plantes servant à leur fabrication (pendant leur croissance, les plantes puisent du CO_2 dans l'air et le fixent pour créer de la matière organique). En somme, un carburant à zéro émission, par opposition aux carburants fossiles, qui rejettent dans l'air du carbone initialement fixé dans le pétrole.

Mais ce bilan simplifié ne prend en compte que les émissions liées à la combustion du carburant dans le moteur. Or sa fabrication n'est pas neutre. En 2010 déjà, une étude de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) analysait, du champ au moteur, les postes émetteurs: fabrication d'engrais, culture des plantes, procédé industriel, transport… Au total, ces émissions seraient de l'ordre de 20 à 45 g d'équivalent de CO_2 par mégajoule (MJ) de biocarburant consommé, contre 90 g pour l'essence et le gazole. Ce qui réduit déjà l'attrait des biocarburants. Et ne prend de toute façon pas en compte un élément clé, au centre du nouveau rapport européen: les conversions des terres induites par les biocarburants.

Dès 2008, des chercheurs américains révélaient dans *Science* le rôle déterminant de ce facteur, capable, à lui seul, de faire basculer le bilan du mauvais côté. De quoi s'agit-il? *"Face à une demande additionnelle en biocarburants, deux mécanismes permettent d'accroître la production. Première option: une intensification, c'est-à-dire une augmentation des rendements sur les surfaces existantes. Seconde* →

Chronologie

2008 Des chercheurs américains révèlent le rôle clé des conversions des sols.
2010 L'Ademe alerte sur les émissions cachées des biocarburants de 1re génération.
2015 Une étude dévoile l'impact de la politique européenne de développement des biocarburants sur les conversions des sols.

SHUTTERSTOCK

option: une expansion des terres agricoles, qui conduit à des changements d'affectation des sols"*, explique Stéphane De Cara, chercheur à l'Institut national de la recherche agronomique (Inra). Or ces conversions de terres se font souvent au détriment d'espaces naturels qui stockaient du carbone, et engendrent ainsi des émissions considérables de gaz à effet de serre.

LE BILAN DE LA RECONVERSION

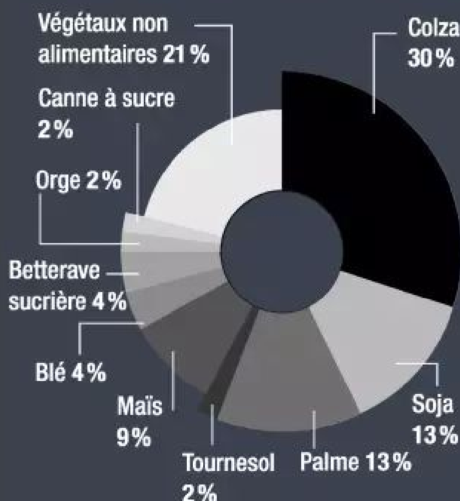
Elles peuvent s'opérer de manière directe – une production consacrée aux biocarburants (colza, betterave, canne à sucre...) se substitue à un espace naturel (forêt, pâturage...) – ou indirecte – la production prend la place de cultures alimentaires, lesquelles se reportent alors sur d'autres espaces qui jouaient le rôle de puits de carbone. Créant à l'échelle mondiale un effet domino difficile à quantifier.

Jusqu'à cette étude européenne, pour laquelle les experts ont utilisé un modèle de gestion dénommé Globiom. *"Il fait partie des rares modèles validés scientifiquement, offrant une couverture mondiale et représentant les marchés agricoles à un niveau de détail suffisamment fin. Trois éléments primordiaux pour une analyse rigoureuse des effets des ajustements entre l'offre et la demande sur les usages des sols et les émissions"*, estime Stéphane De Cara.

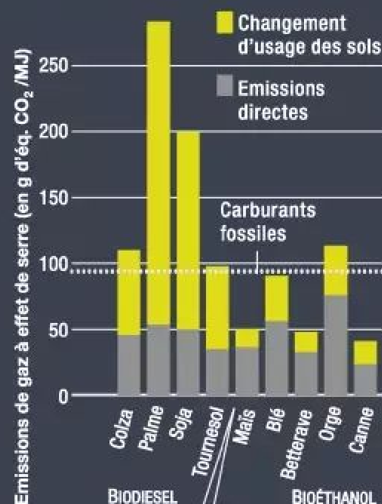
Conclusion: la demande européenne en biocarburants à l'horizon de 2020 se traduira par 6,7 millions d'hectares de terres reconverties, dont plus de 1,6 million en Asie du Sud-Est, en partie aux dépens de la forêt tropicale et des tourbières, gros absorbeurs de CO_2. Les émissions induites par ces conversions de terres s'élèvent à 74 g d'équivalent de CO_2 par MJ de biocarburant consommé.

En se basant sur ces chiffres et en y ajoutant les émissions liées à la production et au transport des biocarburants, l'ONG Transport et environnement estime que le bioéthanol émettrait au final 33 % de gaz à effet de serre de moins que l'essence et s'en tirerait donc honorablement. Mais elle épingle définitivement le biodiesel, qui en émet-

Un bilan plombé par le biodiesel



∧ LES PLANTES LES PLUS UTILISÉES... Le colza, le soja et le palmier à huile sont, en poids relatif, les principales plantes qui seront cultivées pour couvrir les besoins européens en biocarburants à l'horizon de 2020.



∧ ... ÉMETTENT AUSSI LE PLUS Problème: ce sont celles qui entraînent le plus d'émissions de CO_2 en tenant compte de l'impact de la réaffectation des sols. Surtout pour le biodiesel.

Les nouvelles générations se font attendre

Les nouveaux biocarburants sont censés éviter les conversions de terres agricoles. La deuxième génération, issue de la lignocellulose contenue dans la biomasse (bois, paille, résidus agricoles et forestiers...), n'entre pas en concurrence directe avec les cultures alimentaires. Mais elle n'est pas encore opérationnelle: différentes technologies sont testées en phase préindustrielle. Quant aux biocarburants de troisième génération, à base de microalgues, ils sont encore au stade de la recherche. *"Nous cherchons à optimiser chaque étape du procédé: criblage et ingénierie des souches de microalgues, système de culture, récolte, transformation de la biomasse..."*, détaille Jack Legrand, directeur du laboratoire de Génie des procédés, environnement et agroalimentaire. L'objectif: obtenir un rendement énergétique satisfaisant. D'après le spécialiste, les développements industriels n'aboutiront pas avant 2030.



trait 81 % de plus que le diesel conventionnel. En prenant en compte le ratio européen essence-diesel, et l'insertion de 7 % au maximum de biocarburant à la pompe comme prévu par la Commission européenne, les biocarburants de première génération causeraient finalement une hausse de 3,5 % des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon de 2020 par rapport aux carburants fossiles. L'équivalent de plus de 10 millions de voitures supplémentaires sur les routes !

UNE STRATÉGIE À REVOIR

Un constat sans appel, même si l'étude européenne s'appuie sur des hypothèses et des paramètres qui prêtent à débat et restent à affiner, comme l'explique Alexandre Gohin, directeur de recherche à l'Inra : *"Le rapport ne détaille pas assez comment la hausse des rendements est prise en compte. Cet effet essentiel était jusque-là sous-estimé."* Une intensification de la production réduit en effet l'expansion des terres, donc les émissions de CO_2 associées. Autre paramètre clé : le nombre d'années sur lequel on amortit les émissions liées à la conversion des terres. Plus la durée est longue, plus on réduit l'impact du changement d'affectation des sols.

Quoi qu'il en soit, ces données appuient et précisent les conclusions d'une revue des études évaluant l'effet du changement d'affectation des sols, réalisée en 2012 par l'Inra : deux tiers d'entre elles concluaient que les biocarburants de première génération ne respectent pas les critères de durabilité européens, comme la réduction des émissions (35 % dès 2010, 50 % en 2017). Ces données avaient déjà conduit l'Europe à infléchir sa politique, en plafonnant à 7 % le taux d'incorporation des biocarburants à partir de 2015. Ce qui rend encore plus difficile à atteindre l'objectif européen de 10 % d'énergie renouvelable dans les transports en 2020, dont les biocarburants constituaient jusqu'alors le principal levier.

Désormais, quelles voies emprunter pour respecter cet engagement ? En attendant les biocarburants de deuxième et troisième générations (lire encadré), *"il faut surtout baisser notre consommation et améliorer l'efficacité des véhicules,* juge Cyrielle Denhartigh, du Réseau Action Climat. *Ensuite, des énergies comme le biogaz et l'électricité* (renouvelable) *pourraient y contribuer. A condition, en amont, de considérer l'ensemble du cycle de production et d'évaluer les concurrences de terres et d'usages"*. Au risque, sinon, de voir l'histoire se répéter.



A lire : le point sur l'impact des conversions des sols ; l'analyse du cycle de vie des biocarburants de 1re génération.

*EN SAVOIR PLUS
science-et-vie.com



> En l'absence d'espace, la ville pourrait s'agrandir par le haut, en couches successives identiques.



RAW-NYC

LIBERLAND (CROATIE-SERBIE)

L'urbanisme prend pour modèle le millefeuille

Comment loger un maximum d'habitants dans un espace réduit tout en respectant l'environnement et en proposant des conditions de vie raisonnables ? Le Liberland, micro-Etat (autoproclamé) de 7 km² au cœur des Balkans, a organisé une compétition internationale pour résoudre ce casse-tête. Et c'est la firme d'architecture RAW-NYC qui a remporté le prix. Son concept ? Le millefeuille ! La cité de Liberland serait composée d'un empilement de couches, toutes construites sur le même modèle (habitations, commerces, transports, végétation). Si de nouveaux besoins se faisaient sentir ou que la ville ne pouvait plus supporter un nombre croissant d'habitants, il suffirait alors d'ajouter une couche au sommet. Le fonctionnement général, qu'il soit économique, urbain, technologique ou écologique, ne serait donc pas interrompu car chaque étage peut vivre indépendamment l'un de l'autre. L'énergie principale serait fournie par des algues génétiquement modifiées pour pousser sans lumière – une ressource qui permettrait au Liberland d'être autosuffisant et à l'abri des caprices météorologiques. *"Notre projet est ambitieux*, concède Raya Ani, sa directrice. *Mais la technologie est au point. Le reste est avant tout une question de budget."* O.S.



OUAGADOUGOU (BURKINA FASO)

Des **ordinateurs se recyclent** dans des bidons

Ce bidon baptisé "Jerry" contient un ordinateur gratuit, fabriqué à partir de composants issus de dons ou de déchets informatiques, et fonctionnant sous le système libre Linux. Des communautés en ligne, les Jerry Clans, organisent des ateliers afin d'apprendre à fabriquer en quelques jours seulement son propre Jerry. Lancé par des étudiants de l'ENSCI, le projet a permis de réaliser 250 ordinateurs à travers le monde, essentiellement en Afrique de l'Ouest. **E.T.-A.**

ALMERE (PAYS-BAS)

Ces **villages** visent **l'autosuffisance** énergétique et alimentaire

Le cabinet d'architectes danois Effekt a présenté un projet de villages autosuffisants, les ReGen Villages, communautés coopératives réunies autour de bâtiments, serres, jardins capables de produire leur propre énergie et leur alimentation. Maisons à énergie positive renouvelable, fermes (poissons, végétaux…), panneaux photovoltaïques pour la production d'électricité, ventilation naturelle, chauffage passif, gestion de l'eau et des déchets… Le tout en vase clos. *"Les différentes technologies existent déjà,* explique James Ehrlich, l'un des fondateurs, *il s'agit désormais de les appliquer au quotidien."* Objectif : répondre aux problèmes d'urbanisation galopante, de surconsommation, d'augmentation des émissions de CO_2. Une première communauté d'une centaine de maisons doit voir le jour à Almere, aux Pays-Bas. Les travaux viennent de débuter. **E.T.-A.**

MEXIQUE

Un **ciment luminescent** éclaire la route de nuit

Les routes vont pouvoir briller la nuit ! Le problème résidait jusque-là dans le bitume, un matériau opaque qui ne laisse ni entrer ni sortir la lumière. Pour y remédier, une équipe de chercheurs mexicains a conçu un géopolymère luminescent. Composé de sable, d'argile, d'activateurs alcalins et de microcristaux photo-actifs, ce ciment présente une structure atomique proche de celle d'une vitre transparente. Avec un plus : excités par la lumière le jour, les électrons des microcristaux relâchent, dès que la nuit tombe, l'énergie accumulée sous forme de photons, créant ainsi un halo lumineux. Non-organiques et écologiques, ces géopolymères vieillissent comme un ciment classique. Ils pourraient être utilisés dans les rues, les couloirs d'hôpitaux… et même chez soi ! **O.S.**

JERRY DO IT TOGETHER - EFFEKT - DEANNE FITZMAURICE

Idée neuve



"STOCKER L'ÉNERGIE SOLAIRE SOUS FORME DE CARBURANT"

Daniel Nocera, professeur en énergie à Harvard (Etats-Unis)

L'énergie solaire est séduisante, mais elle dépend de l'ensoleillement et reste difficile à stocker. D'où l'idée ambitieuse de chercheurs de Harvard, fondée sur le principe de la photosynthèse (les plantes créent de la matière organique grâce à la lumière du soleil). Daniel Nocera a mis au point une "feuille" artificielle faite de cellules photovoltaïques, pour produire un courant électrique (2 V) qui, en présence d'un catalyseur à base de cobalt et de phosphore, sépare les molécules d'hydrogène et d'oxygène de l'eau. Des bactéries, les *Ralstonia eutropha*, consomment ensuite l'hydrogène produit, le digèrent, l'assimilent avec du carbone et de l'oxygène, et rejettent un carburant liquide composé d'alcools chimiques. Appelé "huile de fusel", ce mélange peut être utilisé en complément d'autres carburants ou brûlé dans des moteurs thermiques. *"Cette découverte permet de stocker la lumière du soleil et de l'utiliser n'importe où et n'importe quand"*, explique Nocera, qui, avec son équipe, voudrait développer ce projet dans le tiers-monde. **O.S.**



MONACO

Un récif corallien imprimé régénère la faune et la flore

A défaut de sauver les coraux du réchauffement climatique, on pourrait les remplacer par des récifs artificiels. L'idée n'est pas neuve, mais l'approche de l'entreprise néerlandaise Boskalis est originale et écologique. Plutôt que des blocs de béton, l'inventeur italien Enrico Dini utilise une imprimante 3D géante pour fabriquer à base de sable des modules de 2 m^3 imitant la géométrie du corail. Le procédé est long (un jour par module) mais le résultat est là ! Les blocs installés au large de Bahreïn et du Royaume-Uni ont été investis par les algues et les poissons. La réserve du Larvotto, à Monaco, accueillera la première un récif complet (6 modules), cet automne. **L.B.**

SAINT-ROMAIN-DE-COLBOSC (SEINE-MARITIME)

Des batteries usagées alimentent un data center

Les échanges numériques devenant la norme, les data centers nécessaires pour stocker nos données sont aujourd'hui hautement énergivores. D'où une tendance aux data centers "*green*", comme celui inauguré, près du Havre, par l'opérateur télécom Webaxys. Sa particularité ? Sur ses 30 baies, 4 sont autonomes en énergie : elles sont alimentées par des panneaux photovoltaïques installés sur le toit. Mais le plus original est que l'énergie est stockée dans des batteries usagées de voitures électriques (fournies par Nissan), qui trouvent ainsi une seconde vie. L.B.

Melbourne (États-Unis)

Un **vaisseau monoplace** facilitera les **sorties dans l'espace**

Des chercheurs de l'Institut de technologie de Floride ont imaginé un petit vaisseau spatial monoplace nommé SPS (Single Person Spacecraft). Il permettra non seulement de se déplacer, mais aussi de manipuler des objets grâce à ses bras robotisés. Par ailleurs, l'habitacle étant pressurisé avec la même atmosphère que le véhicule hôte, les astronautes pourront y entrer sans avoir à enfiler de scaphandre. Les missions d'entretien et de réparation seront ainsi plus faciles et plus rapides. Le SPS pourra aussi, au besoin, être télépiloté, ce qui évitera aux astronautes de s'exposer aux impacts de micro-débris spatiaux. **S.F.**

GENESIS ESI - NISSAN

Rendez-vous en...

2027

LE PLUS LONG TUNNEL HYBRIDE IMMERGÉ AU MONDE MESURERA 19 KILOMÈTRES

A peine le plus long tunnel ferroviaire au monde inauguré sous les Alpes (le Saint-Gothard, lire *S&V* n°1185, juin 2016), que se profile déjà un autre record, celui du plus long tunnel immergé routier et ferroviaire. Avec 19 km de longueur, le "Lien fixe" (c'est son nom) du Fehmarn Belt, le détroit qui sépare l'Allemagne du Danemark, va détrôner le tunnel Drogden et le pont de l'Øresund qui relient la Suède au Danemark. Ce nouvel édifice sera principalement composé d'éléments préfabriqués : 79 blocs de béton et d'acier, chacun de 217 m de longueur, 42,2 m de largeur, 8,9 m de hauteur et pesant 73,5 t, qui seront immergés au fond de la mer Baltique. Ce Lien fixe reliera la région danoise du Lolland-Falster au Schleswig-Holstein allemand par une route à quatre voies ainsi qu'une double voie de chemin de fer ; en dix minutes en voiture ou sept minutes par le train, au lieu d'une heure de ferry ou d'un détour de 160 km par la région danoise du Jutland. *"Il sera possible de relier Copenhague à Hambourg en deux heures et demie contre quatre heures et demie aujourd'hui"*, résument ses promoteurs, parmi lesquels le français Vinci. Le montant des travaux est estimé de 7 à 8 milliards d'euros. Ils devraient débuter en 2019 pour s'achever en 2027, si tout va bien. **E.T.-A.**

PARIS

Bientôt, les **taxis voleront** au-dessus de l'eau

Le marin français Alain Thébault a appliqué son idée de l'Hydroptère (un bateau qui "vole" sur l'eau grâce à des foils, des ailerons immergés) à un nouveau mode de transport collectif baptisé SeaBubbles. Ces bateaux-taxis de 4 places voleront bientôt eux aussi sur les fleuves ou les lacs des grandes villes pour désencombrer le trafic routier. Ils pourront atteindre 55 km/h avec un moteur électrique silencieux. Après les premiers tests cet été sur la Seine, Paris devrait être ville pilote et accueillir 60 de ces "bulles" au printemps 2017. Puis devraient suivre Londres, Genève, San Francisco… L.B.



SEABUBBLES

LA SCIENCE & LA VIE

SHUTTERSTOCK - WAVERLY LABS



Succès du running

Nous sommes nés pour courir

Et si notre engouement pour la course à pied n'était finalement qu'un juste retour aux sources, comme l'affirment certains chercheurs ? Une sorte de redécouverte (tardive) d'un moyen de locomotion qui a fait de nous une espèce à part...

D'après une enquête menée pour la Fédération française d'athlétisme en 2016, 25 % des Français âgés de 15 ans et plus déclarent faire du running (de l'anglais *"run"*; on ne dit plus "jogging"). Et dans de nombreux autres pays occidentaux, les enquêtes notent la vague grandissante des adeptes de ce sport.

LE RAPPEL DES FAITS

En 2015, quelque 800 courses officielles ont été organisées. Selon la Fédération française d'athlétisme, la France compterait désormais 9,5 millions de coureurs dont **60 % pratiquent au moins une fois par semaine**.

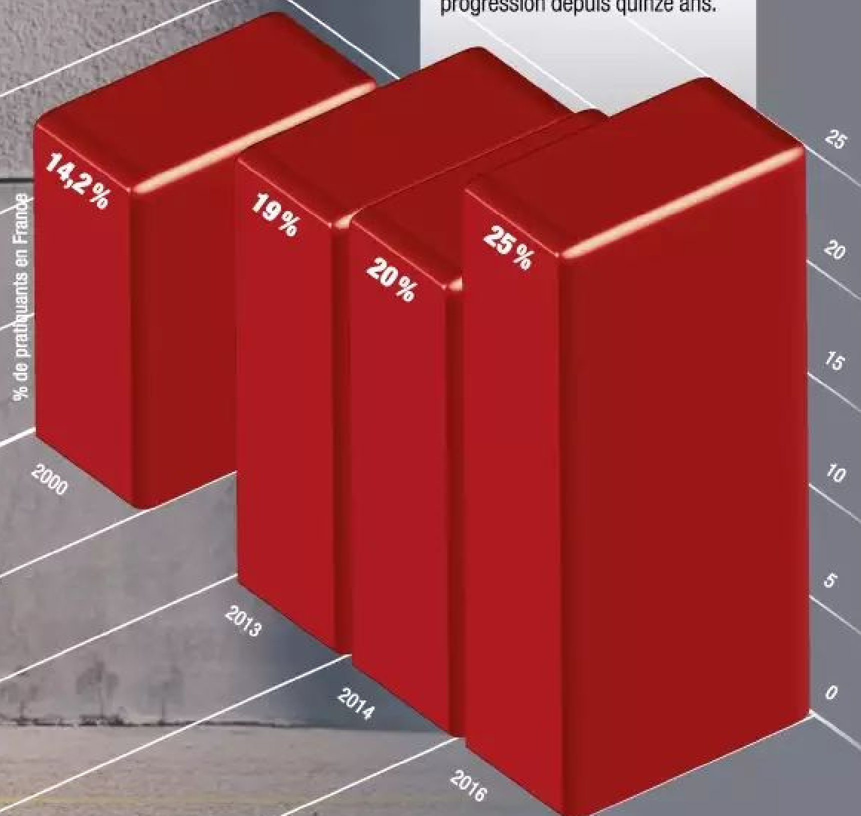
Selon certains chercheurs, tous ces coureurs en baskets fluo, le casque vissé sur les oreilles et une montre connectée au poignet, ne feraient finalement que répondre à l'appel de leur corps, sculpté pour le running il y a un peu plus de 2 millions d'années, au moment de l'émergence du genre *Homo erectus*. L'hypothèse peut paraître étonnante, pour tous les citadins débordés qui s'adonnent à leur nouvelle passion pour la course. C'est pourtant sur la base de recherches tout à fait sérieuses que des biologistes et anthropologues sont parvenus à cette conclusion : l'homme est né pour courir et c'est bien par la course à pied que nous sommes devenus des hommes.

Vous êtes sceptique ? Commencez par vous pencher sur vos tendons d'Achille : en emmagasinant de l'énergie lors du posé du pied pour la restituer ensuite lors de la propulsion, ils permettent d'économiser 50 % du coût métabolique de la course à pied. Les grands singes en sont dépourvus. Seuls les très gros mammifères ou les animaux habitués à courir longtemps, comme le cheval, le chien ou le kangourou, en sont dotés. *"On ne peut expliquer l'existence de ce ressort sans l'influence de la course à pied"*, estime Dennis Bramble, spécialiste de la locomotion animale à l'université de l'Utah. De même, *"la course semble être l'unique justification de nos fesses rebondies"*, ajoute son collègue Daniel Lieberman, anthropologue à l'université Harvard, en précisant que les grands singes n'ont que des muscles tout plats à la place.

SHUTTERSTOCK - ELEANOR LIEBERMAN

DE LA TÊTE AUX PIEDS

La forme de notre pied également, avec sa voûte plantaire, est profilée pour la course. Remarquables, encore, notre ligament nucal qui permet de stabiliser la



25 % des plus de 15 ans courent régulièrement
En 2016, un quart des Français de plus de 15 ans déclarent pratiquer le running. Un sport en nette progression depuis quinze ans.

9,5
C'est, en millions, le nombre de coureurs répertoriés par la Fédération française d'athlétisme.

Un sport qui se pratique avant 50 ans
Un peu plus de la moitié des joggeurs ont entre 25 et 49 ans.



Sources : Fédération française d'athlétisme

tête ; nos glandes sudoripares qui évacuent la chaleur… Autant de caractéristiques absentes chez les grands singes et qui font de nous des champions d'endurance. Si, si ! Aucun primate ne nous bat en course longue !

Quant au reste des mammifères, rares sont ceux qui courent fréquemment, et sans contrainte humaine, plus de 10 km (loups, hyènes). Même les grands quadrupèdes, qui bénéficient pourtant du galop, beaucoup plus avantageux pour la course, font pâle figure dès lors que nous nous confrontons à eux sur de très longues distances. Il existe ainsi plusieurs compétitions d'endurance où des coureurs sont alignés avec des cavaliers, et *"les primates plantigrades* [que nous sommes] *gagnent six fois sur sept contre les équidés à sabots"*, affirme le paléoanthropologue Pascal Picq dans son dernier ouvrage, *La Marche - Sauver le nomade qui est en nous* (éd. Autrement, 2015). Même s'il faut reconnaître que, sur des distances inférieures au marathon, les chevaux entraînés battent plus fréquemment les meilleurs coureurs…

Si les premières preuves de notre profilage pour la course ont donc été retrouvées sur des fossiles datant →



DANIEL **LIEBERMAN**
Anthropologue à l'université Harvard

Nous avons évolué pour courir et nos corps sont sculptés par cette adaptation millénaire

de plus de 2 millions d'années, au fil des millénaires, ces éléments anatomiques spécifiques se sont affirmés et enrichis. Ainsi, plus on étudie des fossiles récents, plus on voit les surfaces articulaires s'élargir; mieux on distingue la petite crête à la base du crâne liée à la présence de ce ligament nucal garant de la stabilité de la tête; plus les orteils sont courts…

Or, si ces éléments spécifiques à la course à pied se précisent durant l'évolution, cela suggère que l'endurance devait représenter un avantage en termes d'adaptation durant toute cette période.

Mais lequel? L'homme a-t-il dû courir pour fuir? Peu de chance, ses prédateurs étaient bien plus rapides que lui. L'hypothèse privilégiée aujourd'hui est la suivante: l'homme se serait mis à courir pour épuiser ses proies sur de longues distances, ou arriver le premier sur de lointaines charognes.

"Cette hypothèse est invérifiable, concède Daniel Lieberman. *Mais elle permet de comprendre comment l'endurance aurait autorisé l'accès à un régime plus riche en protéines et en graisses, les plus endurants devenant ceux qui se développaient le mieux… Oui, nous avons évolué pour courir et nos corps sont sculptés par cette adaptation millénaire. Une autre preuve? Nous devenons malades lorsque nous ne faisons aucun exercice"*, conclut le chercheur (lire encadré ci-dessous).

Voilà pourquoi ce soudain engouement pour la course à pied réjouit le scientifique, mais aussi nombre d'autres chercheurs et médecins pour lesquels ce phénomène sociétal ne peut qu'améliorer la santé publique.

BON POUR LA SANTÉ

De fait, de plus en plus d'études montrent que la pratique régulière d'une activité physique diminue significativement le risque de mortalité. *"L'activité physique réduit par exemple de 33 % le risque de maladie cardiovasculaire et diminue le risque de treize types de cancers"*, affirme Jean-François Toussaint, chercheur à l'Institut de recherche biomédicale et d'épidémiologie du sport.

Son équipe a également démontré que, contrairement à ce que l'on croyait, même pratiqué à haut niveau, le sport améliore la qualité et l'espérance de vie, chez les hommes comme chez les femmes.

Aujourd'hui, les médecins recommandent au moins 2 h 30 d'activité d'endurance d'intensité modérée (marche rapide)

Ces atouts qui font de nous des champions d'endurance

Efficacité et souplesse des mouvements, ventilation assurée : l'être humain a évolué pour devenir, parmi les mammifères, l'un des meilleurs coureurs de fond. Voici ses points forts.



LE LIGAMENT NUCAL

Il assure la stabilité de la tête et l'équilibre du corps lors de la course. Une petite crête à la base du crâne en est la trace.





Malade d'inactivité !

Si l'homme est né pour courir, il court à sa perte en ne courant plus. *"La plupart des maladies modernes (obésité, diabète, maladies cardio-vasculaires, cancers, myopie, ostéoporose…) sont la conséquence d'une inadaptation évolutive. Le corps dont nous avons hérité n'est pas adapté à l'inactivité. Nous sommes entrés dans un cycle de dysévolution"*, écrit Daniel Lieberman dans son livre récemment traduit en français, *L'Histoire du corps humain - Evolution, dysévolution et nouvelles maladies* (éd. JC Lattès). D'après une récente étude publiée dans l'*American Journal of Preventive Medicine*, rester assis plus de trois heures par jour serait responsable de près de 4 % de la mortalité, toutes causes confondues, soit plus de 433 000 décès évitables. Les chercheurs estiment qu'en France, 21 000 décès en découlent.

SPRINGER MEDIZIN/SPL - STEVE GSCHMEISSNER/SPL/COSMOS - ANDERS PERSSON, CMIV / SPL - DR - SHUTTERSTOCK

LES GLANDES SUDORIPARES

Elles permettent au corps d'évacuer l'excès de chaleur produit : un atout précieux pour courir longtemps.

LE TENDON D'ACHILLE ET LA VOÛTE PLANTAIRE

Le premier, tel un ressort, rend plus efficace la propulsion. La seconde s'est profilée pour accompagner ce mouvement tout en souplesse.

ou 1 h 15 d'intensité soutenue (running) par semaine.

Alors, la prochaine fois que vous chausserez vos baskets pour suivre ces conseils d'hygiène de vie, peut-être songerez-vous aussi à vos lointains ancêtres : c'est finalement leur rendre hommage que reprendre goût à ce qui était autrefois un mode de locomotion vital pour leur survie. **Lise Barnéoud**

Pour aller plus loin:
www.science-et-vie.com

Argent et espérance de vie

Gagner au loto ne fait pas vivre en meilleure santé



ANDREW **CLARK**
Economiste au CNRS

Science & Vie : Il est établi que les cadres vivent en moyenne plus longtemps que les ouvriers. En France, par exemple, l'écart est de 6,4 années. Les hauts revenus sont-ils le garant d'une meilleure santé ?

Andrew Clark : On pourrait le croire, mais il existe un modèle d'étude qui contredit ce lien direct : les gagnants du loto. Une étude menée pendant plus de dix ans en Suède sur des milliers de gagnants a récemment montré qu'augmenter brusquement ses ressources n'améliore pas l'état de santé physique. Pour la santé mentale, l'effet est visible mais faible, avec une légère baisse de la consommation d'antidépresseurs. Les gagnants n'ont pas vu leur espérance de vie augmenter, quelle que soit la catégorie socioprofessionnelle de départ.

S&V : Pourtant, être riche permet bien souvent d'avoir accès à de meilleurs soins ?

A. C. : Avec ma collègue Bénédicte Apouey, nous avons réalisé en 2010 une étude sur plus de 10 000 gagnants de la loterie nationale du Royaume-Uni, pays où les revenus influencent beaucoup la qualité des soins. Et nous avons constaté que ces personnes sortaient, buvaient et fumaient davantage une fois leurs gains en poche. C'est comme si l'adoption de ce mode de vie moins sain avait annulé le bénéfice de l'accès à de meilleurs soins… Ce constat pourrait d'ailleurs être mis en relation avec les travaux de l'Américain Christopher Ruhm qui montrent une augmentation de la mortalité pendant les booms macroéconomiques, et une diminution pendant les récessions – à l'exception des suicides.

S&V : Ce sont des résultats surprenants ! La richesse n'aurait finalement pas de lien positif sur la santé ?

A. C. : Nos études sur les gagnants du loto ne nous permettent pas de conclure, mais elles ouvrent sur deux hypothèses. La première est celle de la causalité inversée : nos revenus ne détermineraient pas notre état de santé, mais avoir une bonne santé permettrait de travailler plus et d'avoir de bons revenus. L'autre hypothèse est que l'association observée dans la population générale entre revenu et santé pourrait n'être finalement qu'un artefact statistique. Elle serait due à l'omission de caractéristiques individuelles corrélées à la fois à la santé et au revenu : le poids à la naissance, les traits de la personnalité ou l'aversion au risque… Cela ferait apparaître un lien de causalité entre santé et revenu, alors qu'il n'y en aurait aucun !

Propos recueillis par Ophélie Surcouf





Fin de la dissection à l'école

Une confrontation avec le réel irremplaçable

Pour comprendre une réaction chimique, rien de tel que mélanger deux solutions dans un tube à essais et observer soi-même le résultat. Aussi le ministère de l'Education nationale insiste-t-il pour que les élèves du secondaire *"réalisent des manipulations"* et *"s'initient à la démarche scientifique"*. En sciences de la vie et de la Terre (SVT), l'élève est notamment censé *"comprendre le fonctionnement du corps humain et le monde du vivant"* grâce à l'observation et à la pratique.

LE RAPPEL DES FAITS

En juillet, une circulaire du ministère de l'Education nationale **interdit la dissection des souris.** Et précise que la pratique ne pourra se faire que *"sur des invertébrés, à l'exception des céphalopodes [calmars, seiches...] et sur des vertébrés ou sur des produits issus de vertébrés faisant l'objet d'une commercialisation destinée à l'alimentation"*.

Pourtant, la dissection sur les souris vient d'être de nouveau interdite au collège et au lycée, après un bras de fer entre syndicat enseignants et association de défenses des animaux devant le Conseil d'Etat. Tout comme la dissection d'animaux morts élevés à seule fin d'expériences scientifiques. Théoriquement, la dissection d'organes bovins (œil, cœur...) et d'organismes entiers comme les lapins ou les grenouilles reste possible si ces animaux sont issus de l'industrie alimentaire. Mais le ministère souligne bien que *"les nouveaux programmes [...] qui entrent en application pour cette rentrée ne mentionnent plus la dissection"*.

Certes, le bien-être animal motive cette interdiction, mais quelles sont les alternatives pour initier les élèves à la démarche scientifique? Des modèles en plastique, des simulations virtuelles? Ces outils sont loin de faire l'unanimité! *"Leur utilisation peut être intéressante, notamment pour représenter le fonctionnement du cœur, l'afflux de sang... Mais cela ne remplace pas la dissection dans ses caractéristiques sensorielles"*, juge Claire Calmet, formatrice au sein de la fondation La main à la pâte, qui vise à améliorer l'enseignement de la science à l'école primaire et au collège.

"La dissection n'est pas indispensable, mais elle constitue un vrai plus!, argumente-t-elle. *Elle seule permet d'étudier l'intérieur d'un animal. Par le passé, dépecer un lapin ou vider un poisson se faisait à la maison; ce n'est plus le cas."*

L'ÉTHIQUE OU LA CURIOSITÉ

Forte de son expérience en tant que professeur de SVT, Claire Calmet précise que ses élèves se montrent souvent très curieux lors de ces séances.

Certains placent cepen-

SHUTTERSTOCK - DR - S.AQUINDO



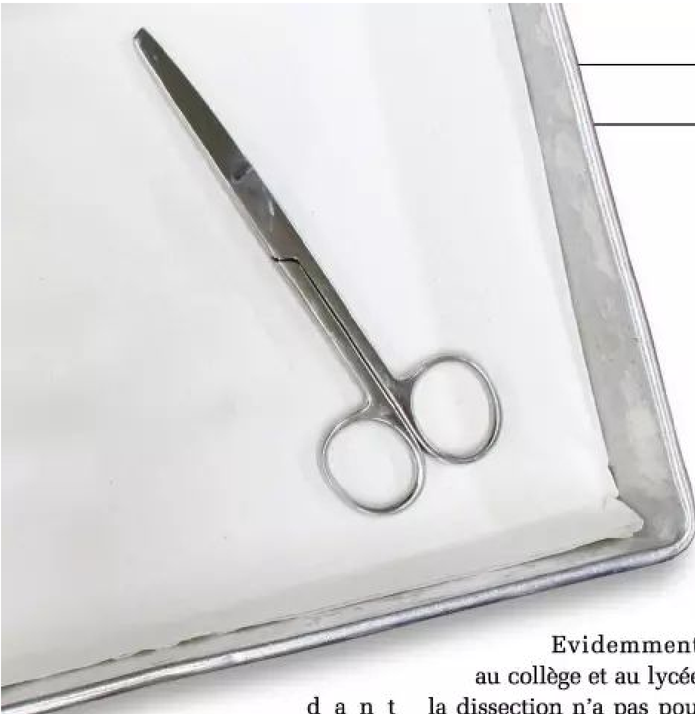
EN CHIFFRES

3 ans

C'est la durée d'espérance de vie perdue par les personnes obèses, selon une étude menée pendant treize ans sur près de 4 millions d'individus dans le monde (non fumeurs et sans maladie chronique). Les personnes en surpoids perdent, elles, un an.

1 MW

C'est la puissance électrique fournie depuis cet été par deux hydroliennes immergées dans la région de Paimpol (Bretagne). Ce sont les toutes premières turbines plongées dans la mer et reliées par un câble à un réseau de distribution d'électricité.



dant l'éthique avant la curiosité des élèves. Georges Chapouthier, directeur de recherche émérite au CNRS et auteur de livres et de rapports sur l'expérimentation animale, estime qu'*"il est important que l'élève ne se dise pas qu'un animal a été tué juste pour lui!"* et juge que *"grâce à l'utilisation d'un mannequin du corps humain, le bénéfice moral n'est pas entamé par le bénéfice scientifique"*. Pour le neurobiologiste, la seule raison d'élever un animal dans le but de le disséquer est pour *"améliorer la médecine"*. *"Les enjeux médicaux sont tels qu'il n'y a pas moyen, aujourd'hui, de la supprimer!"*, insiste-t-il.

Evidemment, au collège et au lycée, la dissection n'a pas pour but de former de futurs chirurgiens ou vétérinaires. Mais pourquoi pas de créer des vocations? D'ailleurs, pour ceux qui poursuivront dans cette voie, en médecine ou à l'université, Patrice Le Floch-Prigent, professeur d'anatomie à l'université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines prévient que la dissection est indispensable: *"C'est comme en aviation, vous pouvez passer le temps que vous voulez en simulateur, cela ne remplacera jamais le vol réel!"*, assène-t-il.

Dans tous les cas, la dissection n'est jamais obligatoire: l'élève refusant de la pratiquer ne sera pas pénalisé. **C.Plantureux**

21 millions



C'est le nombre d'Américains ayant joué à *Pokémon Go* lors de la journée de lancement du jeu, en juillet. Cette "appli", qui consiste à attraper des créatures dans un environnement en réalité augmentée, a même battu le record de *Candy Crush*.

C'EST UNE PREMIÈRE





Souriez, vous polluez!

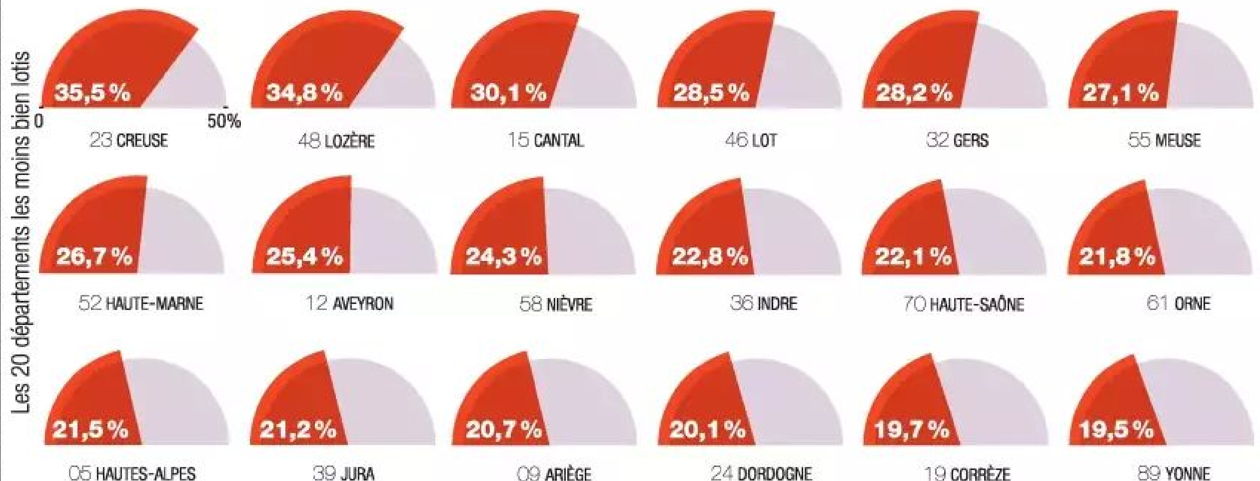
Votre voiture pollue-t-elle un peu, beaucoup ou à l'excès? En répondant à un appel à projets de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe), Lille est devenue la première ville de France à analyser la pollution générée par chaque véhicule en train de circuler. Rien à voir, donc, avec les tests effectués à l'arrêt par les policiers, ni avec les résultats communiqués par les constructeurs automobiles. Pendant tout le mois de juillet, la société Rincent Air a placé le long de différentes routes un dispositif RSD (Remote Sensing Device, appareil de télédétection) utilisant l'optique pour mesurer les taux de dioxyde de carbone, de monoxyde de carbone, de monoxyde d'azote et d'hydrocarbures émis par plus de 40 000 véhicules. Leur vitesse et leur accélération ont par ailleurs été calculées, et leur plaque d'immatriculation a été photographiée. *"Il n'y a bien sûr aucune sanction*, précise Gaëtan Cheppe, responsable du service Risques urbains et sanitaires de la Ville. *Mais en nous offrant une vision précise du parc automobile de Lille, ces données nous permettront de lancer un plan d'action efficace de réduction de la pollution."*

Dans certaines villes d'Europe, ce dispositif a montré que les gros pollueurs, pourtant minoritaires, étaient responsables de 50 % des émissions, d'où la nécessité de les identifier. *"Nous étudierons aussi si le fait de connaître le niveau de pollution de sa voiture a un impact sur le comportement des automobilistes*, poursuit Gaëtan Cheppe. *La conduite et l'entretien du véhicule jouent un rôle prépondérant: pour un même modèle de voiture, nos mesures passent parfois du simple au double."* **T.Cavaillé-Fol**

Inégalités de santé

Plus de 7 % des Français sont à plus de 7 minutes d'un médecin

Les 20 départements les moins bien lotis

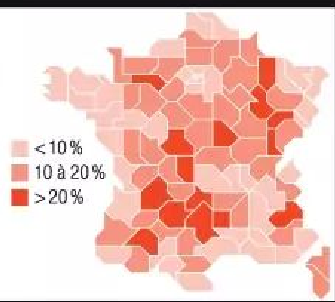


19,2 % 07 ARDÈCHE

18,6 % 03 ALLIER

Combien d'habitants ont un parcours trop long ?

En moyenne, seulement 7,3 % des Français ont besoin de rouler plus de 7 minutes pour atteindre un cabinet médical ou une pharmacie. Mais ce bon score cache de fortes inégalités selon les départements. Dans la Creuse, c'est 35 % de la population qui est au-delà du seuil de 7 minutes, 0 % à Paris.



Les 20 départements les mieux lotis

3,8 % 62 PAS-DE-CALAIS

3,4 % 66 PYRÉNÉES-ORIENTALES

3,2 % 83 VAR

2,9 % 06 ALPES-MARITIMES

2,8 % 90 TERRITOIRE DE BELFORT

2,7 % 33 GIRONDE

2,6 % 67 BAS-RHIN

2,4 % 84 VAUCLUSE

2,2 % 34 HÉRAULT

1,9 % 69 RHÔNE

1,9 % 44 LOIRE-ATLANTIQUE

1,4 % 78 YVELINES

1 % 59 NORD

0,9 % 91 ESSONNE

0,7 % 13 BOUCHES-DU-RHÔNE

0,6 % 95 VAL-D'OISE

0 % 94 VAL-DE-MARNE

0 % 93 SEINE-SAINT-DENIS

0 % 92 HAUTS-DE-SEINE

0 % 75 PARIS

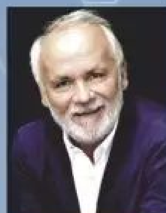
M.KONTENTE

SOURCES : INSEE, INDICATEURS TERRITORIAUXDE DÉVELOPPEMENT DURABLE 2014

LES CROISIÈRES

SCIENCE&VIE | SCIENCE&VIE JUNIOR

ORGANISÉES PAR VOS MAGAZINES



Jérôme Bonaldi, Journaliste et animateur TV



Jean-Pierre Bibring, Astrophysicien



Pascal Picq, Paléoanthropologue



OBJECTIF sciences pour tous



ATELIERS LUDIQUES

RENCONTRES

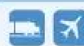
CONFÉRENCES

VACANCES DE TOUSSAINT - DU 21 AU 28 OCTOBRE 2016

ADRIATIQUE

ITALIE • CROATIE • MONTÉNÉGRO • GRÈCE

& ILES GRECQUES



AU DÉPART DE VENISE, ALLER À VENISE C'EST FACILE, NOS CONSEILLERS SONT À VOTRE DISPOSITION !

à partir de 8 JOURS/7 NUITS

959 €

PENSION COMPLÈTE ET UNE SÉLECTION DE BOISSONS

Forfait de séjour à bord inclus
Prix TTC/pers. en cabine double cat.IC

OFFRE SPÉCIALE TOUSSAINT[1]

Gratuité Croisière enfants pour les - de 18 ans



Sauf cas de force majeur, Ce programme non contractuel est susceptible d'évoluer

A BORD DU COSTA MEDITERRANEA



Appelez-nous ! C'est rapide, facile et cela n'engage à rien !

INFORMATIONS & RÉSERVATIONS
01 41 33 57 01
Du lundi au samedi de 9h00 à 19h00

TÉLÉCHARGEZ LA BROCHURE COMPLÈTE SUR
www.croisieres-lecteurs.com/sv
ou écrivez-nous en renvoyant le coupon ci-dessous.

Complétez, découpez et envoyez ce coupon à SCIENCE&VIE CROISIÈRES OBJECTIF SCIENCES - CS 90125 - 27091 EVREUX CEDEX 9 — SCIENCE&VIE

☐ **OUI,** je souhaite recevoir GRATUITEMENT et SANS ENGAGEMENT la documentation complète de cette croisière proposée par Science&Vie.

Nom : .... Prénom : ....

Adresse : ....

Code postal : |_|_|_|_|_| Ville : ....

Tél. : |_|_| |_|_| |_|_| |_|_| |_|_| Email : C16SV3P

☐ Oui je souhaite bénéficier des offres de Science&Vie et de ses partenaires. Avez-vous déja effectué une croisière (maritime ou fluviale) ☐ OUI ☐ NON

Costa

SE RONGER LES ONGLES RÉDUIT LE RISQUE D'ALLERGIE

Mettre ses doigts dans la bouche, une mauvaise habitude ? Cette pratique pourrait pourtant prévenir les allergies, selon une étude néo-zélandaise qui a suivi 1 037 individus nés dans les années 1970. En effet, le risque de développer une allergie était de 49 % pour les participants qui, enfants, ne mettaient pas leurs doigts dans la bouche. Mais il n'était que de 40 % pour les individus qui se rongeaient les ongles ou suçaient leur pouce, et de seulement 31 % pour ceux qui cumulaient les deux habitudes ! Cette protection perdurerait même sur le long terme, puisque les différences étaient toujours visibles lorsque les participants avaient dépassé la trentaine. "Pediatrics", juillet 2016

LE SPORT AIDE À MÉMORISER SI ON ATTEND UN PEU

Un corps sain dans un esprit sain, ce n'est pas une légende. Ainsi, faire du sport améliorerait la mémoire… à condition de se dépenser quatre heures après l'apprentissage ! Après avoir fait mémoriser 90 images en quarante minutes à 72 participants, des scientifiques néerlandais les ont séparés en trois groupes. Le premier faisait de l'exercice immédiatement, pendant trente-cinq minutes. Le deuxième regardait d'abord des documentaires, puis faisait de l'exercice quatre heures après. Le dernier n'effectuait aucun exercice. Quarante-huit heures plus tard, lorsque les sujets réalisaient un second test, ceux qui avaient pédalé quatre heures après la mémorisation montraient une activité de l'hippocampe (structure cérébrale liée à la mémoire) et un taux de rétention des images beaucoup plus élevés. "Current Biology", juillet 2016



SHUTTERSTOCK – GETTY IMAGES – O. BURRIEL/SPL/COSMOS

FIXER VOTRE VOISIN, OUI…

… mais pas plus de 3,3 secondes. Sinon, gare au malaise ! C'est la conclusion d'une récente étude londonienne. Le mouvement des yeux et la dilatation des pupilles indiqueraient combien de temps une personne peut être fixée du regard avant de trouver cela oppressant. "Royal Society Open Science", juillet 2016

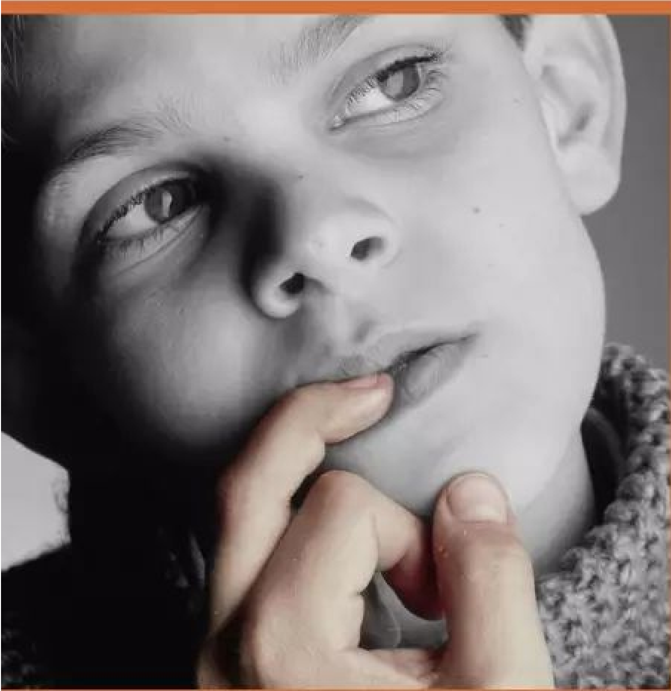


LES FRUITS ET LÉGUMES RENDENT HEUREUX

Chaque portion de végétaux ajoutée au repas augmenterait le bien-être, selon une étude australienne. Passer d'un régime sans verdure à un menu riche en fruits et légumes rendrait même aussi heureux que de trouver un travail ! "American Journal of Public Health", août 2016

LE SMARTPHONE AU LIT EXPOSE À UNE CÉCITÉ TEMPORAIRE

Consulter son smartphone d'un œil tandis que l'autre est plongé dans l'oreiller peut momentanément priver de vision l'œil éclairé. En cause, la différence de luminosité. Cette altération est heureusement bénigne. "The New England Journal of Medicine", juin 2016



L'ENNUI FAVORISERAIT LES OPINIONS POLITIQUES EXTRÊMES

Parmi les facteurs qui poussent à adopter des convictions politiques extrêmes se trouverait… le fait de s'ennuyer dans la vie ! Des chercheurs anglo-saxons ont soumis dans un premier test 97 étudiants à des tâches plus ou moins assommantes, suivies d'une évaluation de leurs convictions. Les individus qui s'étaient le plus ennuyés étaient aussi les plus virulents dans leurs opinions. Un résultat confirmé par une deuxième étude menée sur 859 Irlandais : ceux aux idées extrêmes étaient aussi ceux qui estimaient vivre dans un environnement peu stimulant. Enfin, une troisième étude a établi qu'un fort ennui était associé à un manque de but dans la vie, et à une recherche de celui-ci. Pour les chercheurs, adopter une idéologie politique extrême serait une façon de tenter d'insuffler du sens dans une existence trop banale. "European Journal of Social Psychology", juin 2016

QUI EST AIMABLE AIDE DAVANTAGE SON PROCHAIN

L'amabilité n'est pas qu'une façade. Une étude montre que, entre des personnes extraverties, aimables, ouvertes et névrosées, les plus disposées à donner temps et argent sont les personnes aimables. "Personality and Social Psychology Bulletin", juillet 2016

POUR MOINS BOIRE, ARRÊTEZ DE FUMER

Les ex-fumeurs boivent moins que ceux qui continuent la cigarette. Ils se prêtent également moins au *binge drinking*, pratique qui a pour but une ivresse rapide, selon une étude menée auprès de 6000 Britanniques. "BMC Public Health", juillet 2016

LA PERCEPTION DE NOTRE CORPS CHANGE EN 2 MINUTES

Deux minutes suffisent aux femmes pour se trouver grosses ou maigres. Face à leur image déformée sur Photoshop, comparée à celles d'autres femmes transformées à l'inverse, cette perception peut même changer un une minute. "Frontiers in Neuroscience", juillet 2016

JOUER AUX JEUX VIDÉO PRÉPARE À CONDUIRE

Un *Mario Kart* avant le permis ? Selon une étude chinoise, les jeux vidéo amélioreraient la réactivité du corps aux informations visuelles. Lors d'un test, 12 joueurs et 12 non-joueurs ont ainsi été placés dans un simulateur de conduite. Résultat : 57 % d'erreurs en moins pour les joueurs, et des réflexes plus rapides de 29 %. Puis une cinquantaine d'individus, avec ou sans permis, ont participé à différents jeux – course, construction ou tir. Conclusion, si un individu ne sait pas conduire, seuls les jeux de course améliorent ses performances visuo-motrices, mais s'il a déjà de l'expérience, ce sont les jeux de tir qui lui permettent de se perfectionner. "Psychological Science", juillet 2016



Une oreillette qui abolit la barrière des langues

Imaginez de pouvoir obtenir quasi instantanément la traduction de ce que dit votre interlocuteur quand il parle dans une langue que vous ne maîtrisez pas (anglais, espagnol, italien ou français ; d'autres langues devraient être disponibles dans un bref délai). Voici ce que réalise pour vous la jeune pousse californienne Waverly Labs avec Pilot, un jeu de deux oreillettes Bluetooth à réduction de bruit. Comment marche le système ? Les deux oreillettes sont équipées d'un écouteur et surtout d'un micro qui capte la voix de chaque interlocuteur et l'envoie à une application dédiée sur smartphone (iOS et Android supportant le Bluetooth Low Energy, BLE). C'est cette application qui va reconnaître la voix, la traduire et la synthétiser pour l'envoyer à la deuxième oreillette, dans l'autre langue, en l'espace de quelques secondes. Avec une limite, toutefois : les interlocuteurs devront évidemment être équipés chacun d'une oreillette. Ce qui fait que vous ne pourrez pas traduire la conversation d'un *quidam* rencontré dans la rue. En revanche, ce dispositif présente l'avantage de fonctionner avec plus de deux personnes, en mode conférence, si chacun est équipé… Les premières livraisons sont prévues pour cet automne. **E.T.-A.**

Prix : env. 270 €
Rens. : www.waverlylabs.com















Cette structure en filet garantit adhérence, adaptabilité et sensations.

Un préservatif nouvelle génération

Diminution des sensations, tendance à glisser, déchirure facile… Pour éviter tous ces écueils, la société suédoise Lelo a travaillé sept ans et repensé le préservatif masculin. Le sien est toujours en latex, mais il est constitué de 350 hexagones. Sa fabrication nécessite deux couches, dont la première, sur la face interne, est un filet constitué de mailles hexagonales qui assure une meilleure adhérence. La structure en nid-d'abeilles offre aussi une meilleure adaptation anatomique, le tout avec une épaisseur parmi les plus fines du marché (entre 0,04 et 0,055 mm suivant la zone). O.L.

Prix : env. 20 € le paquet de 12 préservatifs
Rens. : www.lelo.com



Micros filtrants pour capter les paroles de l'interlocuteur

Haut-parleur restituant la traduction

Processeur ARM et module Bluetooth pour communiquer avec un smartphone

Batterie Li-ion rechargeable

<> Les paroles captées par le micro sont traduites par l'application sur smartphone, puis restituées via le haut-parleur ; le tout en quelques secondes.

LE COIN DES PROTOTYPES

La machine qui se plie en quatre pour votre linge

Une machine capable de défroisser et de plier vos pulls, chemises, pantalons au sortir du sèche-linge… Voici ce sur quoi planche la jeune entreprise californienne Foldimate. Ce prototype ne lavera pas, ne sèchera pas ni ne repassera votre linge. Mais il suffira d'accrocher ses vêtements (une vingtaine maximum) sur le rail situé en façade de l'engin pour que la machine les avale à l'aide d'un tapis roulant. Vous devrez alors compter une dizaine de secondes pour que chaque article soit plié, à l'aide de bras mécaniques, plus une vingtaine de secondes supplémentaires pour le défroissage à la vapeur. Un plateau se chargera au final de vous restituer tous vos vêtements empilés. Avec une limite toutefois : draps, serviettes, chaussettes ou sous-vêtements ne seront pas pris en charge ! **E.T.-A.**

Rens. : www.foldimate.com

DR

Un siège auto ultraléger et ultrasolide

Le rêve de tous les parents pourrait bien être réalisé par le fabricant polonais Avionaut. Son dernier produit, l'Ultralite, est un siège bébé moins lourd (2,5 kg contre 3,5 ou 4 kg en moyenne) mais plus solide. Son secret : il est composé de fibre de carbone et d'Arpro, un nouveau matériau formé d'une multitude de petites billes pressées les unes contre les autres. L'Arpro ressemble structurellement au polystyrène, à ceci près qu'il est bien plus solide. Sa faible densité lui permet d'accuser des chocs forts sans se déformer. Ce siège, en plus de soulager les bras des parents, devrait donc garantir une meilleure sécurité pour l'enfant. Disponible en dix coloris et répondant à la norme européenne i-Size, il est réservé aux bébés entre 0 et 13 kg. **O.S.**

Prix : env. 400 €
Rens. : www.avionaut.com



V Le secret de sa légèreté et de sa solidité réside dans un tout nouveau matériau : l'Arpro.

Un gant pour traduire les gestes en musique

Avec les gants Mi.Mu, développés par des ingénieurs et designers anglais sous le contrôle de la musicienne Imogen Heap, la musique électronique obéit au doigt et à l'œil ! Ces mitaines technologiques, utilisables seules ou par paire, fonctionnent avec un logiciel permettant d'associer tout mouvement à des commandes musicales en temps réel. Grâce à de nombreux capteurs – analogiques, accéléromètre, gyroscope – et à une carte d'acquisition x-OSC située sur le dessus du gant, l'artiste crée sa musique via l'orientation et la posture de ses mains (poing, paume ouverte, doigt pointé), leur direction (haut, bas, gauche, droite, avant, arrière), la courbure des doigts et la vitesse des mouvements. Accords, effets vocaux, batterie… Ces gants offrent des milliers de combinaisons possibles. Les données, transmises en wi-fi au logiciel installé sur l'ordinateur, peuvent être configurées pour l'ensemble des logiciels de composition musicale (Ableton Live, Logic Pro X). **A.P.**

Prix : env. 6 000 € la paire
Rens. : www.mimugloves.com

La balance qui surveille aussi votre santé cardiaque

Son nom est Body Cardio, de la société française Withings. Cette balance peut mesurer la vitesse d'onde de pouls (jusqu'ici accessible uniquement en hôpital), qui correspond à la propagation du sang dans les artères. Pour l'estimer, il faut connaître le moment où le sang est éjecté du cœur et celui où il arrive aux pieds. Sur la balance, le temps d'éjection est détecté par la variation de poids qu'induit la force avec laquelle le sang est projeté par le cœur. Le temps d'arrivée au pied est mesuré par leur changement de résistance électrique. Une application sur mobile permet alors de calculer la vitesse d'onde. Si elle est élevée, cela peut traduire de l'hypertension ou un problème cardio-vasculaire. **S.F.**



Prix : env. 160 €
Rens. : www.withings.com



> Orientation, posture, mouvements des doigts et vitesse sont associés à des commandes musicales.

Ce casque atténue les bruits aérodynamiques

Le Smart Helmet est le premier casque ventilé en fibre de carbone à utiliser un système de réduction de bruit actif. Quatre micros captent et analysent les bruits ambiants tout autour de la tête du pilote puis, après traitement logiciel, réinjectent le son inversé dans les haut-parleurs intégrés afin d'amenuiser les bruits aérodynamiques, tout en permettant d'entendre les signaux audio vitaux : sirènes, trafic... E.T.-A.

Prix : env. 540 €
Rens. : www.sena.com



∧ Des micros à l'intérieur captent les bruits environnants et les réinjectent en sons inversés.

Un tuba qui booste les capacités des nageurs

Fini l'essoufflement et les expulsions imparfaites de l'eau résiduelle quand on nage avec un tuba ! Conçu par la société allemande AMEO Sports, le Powerbreather booste les capacités des nageurs grâce à un système ingénieux de séparation d'air muni de clapets antiretours. Lors de l'inspiration, deux tubes situés de part et d'autre du visage permettent de n'absorber que de l'air frais, riche en oxygène, quand une sortie distincte, située face à la bouche, rejette à l'expiration l'air gorgé de dioxyde de carbone. Ce système évite aussi les entrées d'eau lors des plongées pour assurer au nageur une respiration normale dès sa remontée. Fixé derrière la tête à l'aide d'une molette réglable, le tuba dispose de trois tailles d'embouts interchangeables. De quoi se sentir comme un poisson dans l'eau ! **A.P.**

Prix : env. 124 €
Rens. : www.powerbreather.com



∨ Des sorties distinctes munies de clapets antiretours assurent un apport d'air frais.

DR

Comment le corps produit-il sa chaleur?

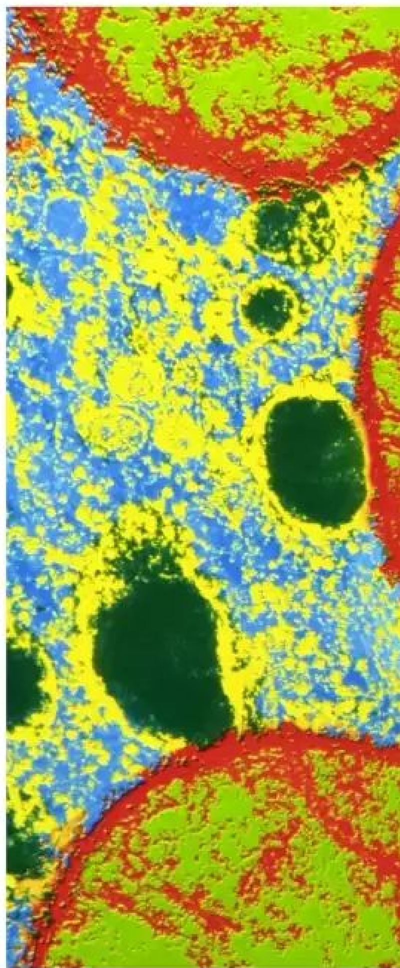
Question de Francisco Montes, Tournus (71)

Le corps humain produit de la chaleur en brûlant les sucres et les graisses provenant de l'alimentation, avec l'oxygène apporté par le sang. *"Cette 'oxydation' a lieu au niveau de petites structures nichées dans nos cellules : les mitochondries, souvent appelées 'usines énergétiques de la cellule',* détaille le médecin suisse Bengt Kayser, à l'Institut des sciences du sport de l'université de Lausanne. *Près de 25 % de l'énergie libérée lors de ce processus l'est sous forme de molécules énergétiques dites 'adénosine triphosphate' (ATP), qui servent au maintien et au fonctionnement de nos cellules ; les 75 % restants – donc la grande majorité ! – sont dissipés sous forme de chaleur."*

MAINTENIR LES 37°C NÉCESSAIRES

A l'intérieur de la "graisse brune", un type de tissu adipeux localisé au niveau de la nuque, des cuisses et de la cavité abdominale, *"les mitochondries ne produisent même quasiment que de la chaleur, et pas d'ATP, à cause d'une protéine empêchant la fabrication de ces molécules"*, précise l'expert. Ce qui explique pourquoi cette graisse brune est plus abondante chez les personnes à plus grand risque d'hypothermie (nouveau-nés, habitants des régions froides...).

Réalisée même quand nous dormons, la fabrication de chaleur par notre organisme permet de maintenir notre température corporelle à 37°C en moyenne. Une température nécessaire pour que toutes nos réactions biochimiques se réalisent de manière optimale. **K.B.**



Pourquoi un choc à la tête provoque-t-il une bosse et non un bleu?

Question d'Emilie Hoerner, internet

Parce que nous avons la tête à la fois très dure et très vascularisée ! Quelle que soit la partie du corps concernée, un choc violent rompt, dans cette zone, les vaisseaux sanguins qui irriguent les tissus de la peau. Le plus souvent, cet épanchement de sang se disperse dans les tissus pour ne laisser qu'une trace bleutée persistante, appelée ecchymose ou, plus communément, "bleu". Il ne peut en revanche se répandre dans les os de la tête et doit donc trouver sa place... *"Le crâne, comme la tête tibiale, comporte très peu de tissus mous, c'est la raison pour laquelle apparaissent des bosses lorsqu'un choc se produit à ces endroits du corps,* confirme Laurence Vico, spécialiste de l'os et directrice de recherche Inserm de l'unité mixte Sainbiose à Saint-Etienne. *Par contre, quand l'hématome a la place de se répartir dans les tissus mous, notamment dans le gras, nous ne voyons pas de bosse mais juste un bleu!"* **A.P.**



∧ C'est dans les mitochondries (en vert) que sucres et graisses s'oxydent pour produire énergie et chaleur.

Où en est le projet de tunnel à Gibraltar ?

Question de M. Ferrandier, Couzeix (87)

Ce projet existe mais il est gelé par manque d'intérêt politique et de financement – coût estimé : 25 milliards d'euros pour 25 ans de travaux. Techniquement, la construction de ce tunnel de 37,8 km, dont 27 km sous le niveau de la mer, reste un défi. *"En comparaison, le tunnel sous la Manche était un jeu d'enfant. Construire un passage dans les brèches argileuses du détroit est très complexe"*, souligne Andrea Panciera, ingénieur suisse responsable technique du projet actuel. Mais le blocage est ailleurs : *"Le jour où le projet verra le jour, il aura du sens dans le cadre d'une intégration approfondie entre l'Europe, le sud de la Méditerranée, et les pays du Sud"*, confirme Kelly Robin, chef de projet des infrastructures à l'Institut de prospective économique du monde méditerranéen. **M.-A.P.**



DR GOPAL MURTI/SPL/COSMOS - A.DAGAN - NASA

Quel est le bruit maximal possible ?

Question de M. Ta Van, Paris (9e)

Le son le plus fort qu'il sera jamais possible de générer sur Terre est de 194 décibels (dB).

Pour comprendre une telle précision, il faut savoir qu'un bruit qui se propage dans l'air correspond à une variation de la pression atmosphérique, laquelle se trouve tantôt augmentée, tantôt abaissée, à l'image d'une courbe sinusoïdale (voir infographie). Logiquement, plus cette vague acoustique a de l'ampleur, plus le bruit est intense.

Or, il n'est pas possible d'abaisser la pression en dessous de zéro : ce cas correspondrait à une absence totale de particules. L'ampleur de cette vague, en particulier son creux, est donc limitée par la valeur de la pression atmosphérique moyenne autour de laquelle l'onde fluctue. Ainsi, le bruit maximal sur Terre est celui qui fait varier la pression entre 0 et 2 fois la pression atmosphérique. Ce qui correspond à un bruit de 194 dB. Par comparaison, une personne qui parle normalement produit une pression acoustique dix millions de fois inférieure.

FUSÉE AU DÉCOLLAGE

"194 dB – et non 191 dB comme le disent certains – est le niveau maximal possible, mais sûrement pas réalisable, souligne Pierre-Olivier Mattei, chercheur au laboratoire de Mécanique et acoustique (CNRS). *C'est une valeur bien trop élevée pour envisager raisonnablement qu'un tel bruit se produise un jour sur Terre avec des moyens humains. A titre de comparaison, le son connu le plus fort jamais entendu serait une fusée au décollage, qu'on estime entre 160 dB et 180 dB. Un avion à turboréacteur qui s'envole, c'est 140 dB."*

Ce bruit maximal est bien sûr moins fort en haut de l'Everest, où la pression atmosphérique est plus faible. Et il serait plus fort sur d'autres planètes dotées de pressions plus élevées… F.C.

Pourquoi les chevaux ont-ils besoin de fers ?

Question de M. Sourt, Frayssinet-le-Gélat (46)

"C'est l'activité intensive qu'on leur réclame qui impose ces fers, répond Laureline Lecoq, spécialiste en médecine interne équine. *A l'état naturel, le cheval n'est pas censé marcher ou courir autant."* Le ferrage, qui a été inventé par les Romains vers 500 av. J.-C., est ainsi largement répandu aujourd'hui. *"Le fer est au cheval ce que la chaussure est à l'homme !"* ajoute la vétérinaire. Le pied du cheval repose sur un sabot, qui correspond à un ongle très épais, et la partie du sabot qui touche le sol est caractérisée par la présence de corne, qui pousse de quelques centimètres par mois. Or, à force de frotter son pied contre le sol lorsqu'il se déplace, le cheval use cette corne et abîme donc son sabot. Ce qui provoque des douleurs, qui peuvent aller jusqu'à empêcher l'animal de marcher. Le fer posé dans cette partie cornée agit comme une protection. F.C.



SHUTTERSTOCK - A.DAGAN

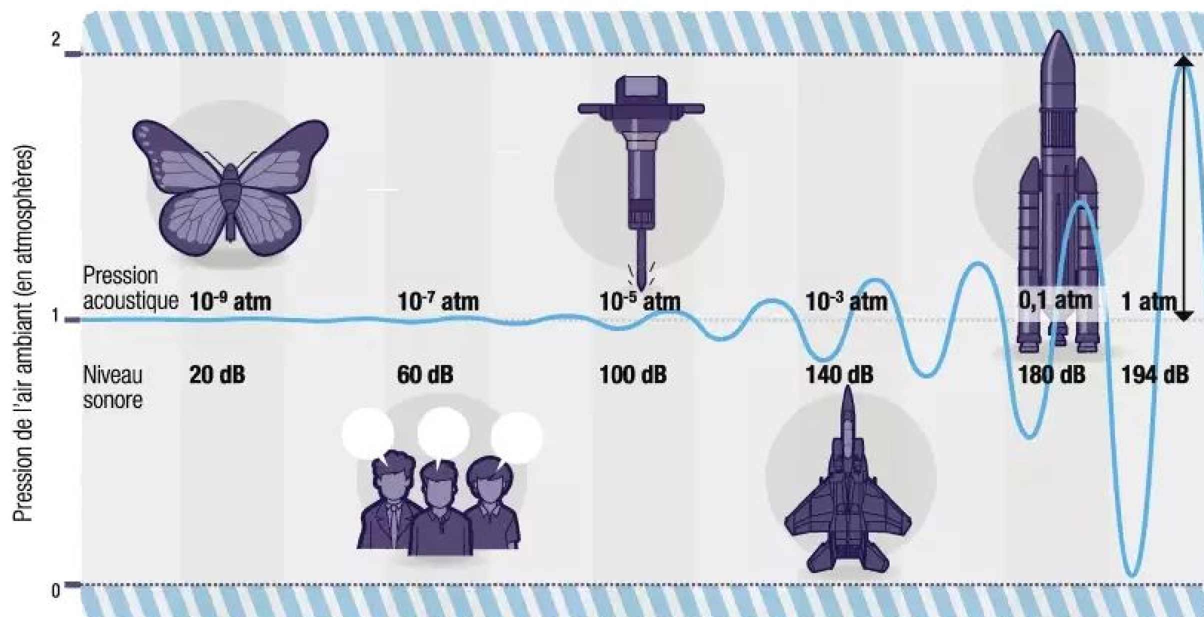
Peut-on

Question d'Olivier Jeannin,

Difficile. Piquer un fard par la simple force de l'esprit est un véritable challenge accessible seulement à quelques surdoués de la maîtrise de soi. *"Créer un rougissement psychologique volontaire signifierait pouvoir se replacer mentalement dans une situation qui nous a fait rougir précédemment. Ce qui impliquerait pouvoir maîtriser et être à l'aise avec l'émotion à l'origine de cette réaction et donc, par définition, ne plus être sujet au rougissement ! C'est comme se forcer à avoir peur de quelque chose*

C'est lorsque la pression acoustique égale la pression atmosphérique

Un son correspond à une variation rapide de la pression de l'air. L'amplitude de cette variation, appelée pression acoustique, est pour la plupart des sons infiniment plus faible que la pression atmosphérique. Et elle ne peut pas la dépasser.



rougir volontairement ?

Dommartin (69)

dont on sait pertinemment ne pas avoir peur. C'est quasiment impossible", affirme Antoine Pelissolo, psychiatre et auteur du livre *Ne plus rougir et accepter le regard des autres* (éd. Odile Jacob, 2009).

PHYSIQUE ET ÉMOTIONNEL

Deux facteurs principaux entrent en jeu dans les phénomènes de rougissement : le physique et l'émotionnel. Si les déclencheurs sont différents, le résultat est le même et induit un afflux sanguin temporaire au niveau du visage, du torse ou d'autres parties du corps. À l'image de la transpiration, nécessaire au refroidissement de l'organisme lors de la production d'un effort physique, la vasodilatation permet d'évacuer de la chaleur et engendre une meilleure circulation du sang.

Lorsqu'il est lié aux émotions, ce rougissement intempestif, aussi appelé "éreutophobie", est considéré comme automatique et involontaire : on peut rougir de plaisir, de colère, de honte…

S'il joue probablement un rôle dans la communication, dans la mesure où il montre un ressenti non verbalisé, il peut devenir handicapant pour certaines personnes. Accepter de rougir et donc ne pas y prêter attention ne supprime pas le phénomène mais permet de ne pas l'amplifier.

TESTER SON IMAGINATION

Il n'en demeure pas moins que s'empêcher de rougir, et donc de ressentir une certaine émotion par une remise en cause du sentiment qui est à l'origine du trouble, est quasi impossible. Et l'inverse obéit à la même règle. *"Au cours de thérapies, des personnes qui disent rougir trop et trop souvent n'arrivent pas à rougir. Provoquer volontairement une émotion de gêne reste trop compliqué pour la majorité des patients. Toutefois, certaines personnes peuvent peut-être développer suffisamment d'imagination pour déclencher un rougissement volontaire… C'est tout le jeu de l'imaginaire et de la simulation"*, relativise Antoine Pelissolo.

L'empourprage délibéré se révèle ainsi un exercice assez intéressant pour tester son pouvoir d'imagination. En dernier recours, vous pouvez toujours retenir votre respiration, vous placer à côté d'un radiateur poussé à bloc ou faire le poirier… **A.P.**

"No Man's Sky", le cosmos en jeu vidéo

18 trillions de planètes à explorer





Levez les yeux vers le ciel et imaginez-vous parcourir chacune des planètes de l'Univers. Mission impossible? Pas pour les futurs joueurs de *No Man's Sky*. Ce jeu vidéo met plus de 18 trillions (18 milliards de milliards) de planètes à portée de joystick. Ce qui correspond à un millionième des planètes estimées dans l'Univers. Jamais un espace virtuel de cette ampleur n'avait été proposé aux joueurs. Objectif: découvrir le cosmos et y survivre.

Le principe? A chaque nouvelle exoplanète visitée, le jeu évolue, chacun des choix du joueur ayant une influence sur toute la galaxie. *No Man's Sky* n'est pas pour autant un jeu multijoueur puisque les chances de croiser quelqu'un d'autre dans l'immensité de la carte sont très faibles.

SCIENCE ET FICTION

Tout a commencé avec cette envie de Sean Murray, le fondateur de Hello Games, petite société de production de jeux vidéo britannique: se mettre dans la peau d'un explorateur spatial. Quels types de planètes rencontrerait-il? Qu'y trouverait-il?

Le concepteur s'est inspiré des derniers travaux des astrophysiciens, qui prouvent notamment qu'un visiteur de l'espace y croiserait sûrement beaucoup de planètes rocheuses. D'après les études tirées des observations du télescope *Kepler*, qui traque les exoplanètes, la majorité des étoiles abriteraient en effet au moins une rocheuse.

Pour le reste, le mystère reste entier… *"Nous avons beaucoup de questions et peu de certitudes,* confirme François Forget, chercheur au CNRS. *La vie se développe-t-elle systématiquement en présence d'eau liquide ou faut-il des circonstances exceptionnelles? A quel point l'espace renferme-t-il une grande diversité d'environnements?"* De multiples inconnues qui laissent le champ libre aux concepteurs et aux joueurs de *No Man's Sky* pour imaginer des mondes possibles sans contredire l'astrophysique.



- ***No Man's Sky***
- Date de sortie: 10 août
- Développeur: Hello Games
- Plateforme: PlayStation 4 et PC
- http://www.no-mans-sky.com/

Le réel, pour François Forget, n'est pourtant pas ici le principal: "No Man's Sky *est avant tout un outil poétique et amusant. Une science-fiction qui fait rêver."* Plus besoin de lever la tête pour être dans les étoiles.

Ophélie Surcouf

HELLO GAMES – NSERC/MARTIN LIPMAN



S&V: *No Man's Sky* propose de visiter 18 trillions de planètes. Est-ce un rêve d'astrophysicien?

Jérémy Leconte: Je trouve ça extraordinaire. Ce jeu propose une véritable exploration. Même si la communauté de joueurs est importante, l'Univers est tellement monstrueux qu'on ne pourra jamais



Une planète, un univers : dans *No Man's Sky*, chaque lieu a une identité. Un choix esthétique, mais pas forcément très scientifique.



JÉRÉMY **LECONTE**
Chercheur en astrophysique au CNRS à Bordeaux

"Un tel terrain de jeu pourrait sensibiliser le public aux exoplanètes"

tout sonder. Les créateurs du jeu eux-mêmes ne connaissent pas toutes les planètes qu'ils ont créées !

S&V : *No Man's Sky* a beau ne pas être un jeu de science exacte, permet-il de donner une représentation de la diversité de l'espace ?

J.L. : Qu'il s'agisse des développeurs du jeu, des chercheurs ou du grand public, nous avons du mal à imaginer l'exotisme des planètes extrasolaires. On pourrait trouver des océans de lave là où un hémisphère trop proche du Soleil aurait fondu, des planètes-océans dont le manteau de glace serait devenu liquide. Avant de les observer, on ne pensait pas que des planètes telles que les Jupiter chaudes pouvaient exister, par exemple. Il y fait 3 000 °C d'un côté, 500 de l'autre, et des vents supersoniques font le tour de leur équateur. Notre imagination nous pose des limites que la nature n'a pas.

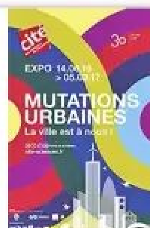
S&V : Et si vous aviez un reproche à faire à ce jeu ?

J.L. : Il fait le même raccourci que des films comme *Star Wars*. Chaque planète a une identité, un seul et unique climat. C'est un choix esthétique qui est problématique si l'on veut expliquer la diversité des planètes. Mais un tel terrain de jeu pourrait sensibiliser le public aux exoplanètes. Même si l'on apprend rarement des vérités scientifiques dans la science-fiction, elle fait se poser de bonnes questions : est-il vraiment possible que cette créature puisse se développer dans un climat humide ? Pourquoi un ciel ne peut-il pas être aussi vert ? *No Man's Sky* pourrait motiver ses joueurs à aller chercher des réponses au-delà du virtuel. **Propos recueillis par O.S.**

A voir, à lire

EXPOSITION

- ***Mutations urbaines***
- Jusqu'au 5 mars 2017
- Cité des sciences et de l'industrie (Paris)
- 30, avenue Corentin-Cariou, Paris 19e
- Entrée : 12-10 €



D'ici à 2030, les zones urbanisées représenteront au moins 10 % des terres émergées. Pollution, populations, transports… tout sera concentré dans les villes. Comprendre ces mutations en accéléré, c'est l'expérience que propose notamment le film d'animation *Terre urbaine*, un des temps forts de l'exposition. Pendant huit minutes, des milliers de données (chiffres, dessins…) sont mises en scène dans une chorégraphie où les mutations en cours et à venir deviennent limpides aux yeux du spectateur. Une exposition à parcourir comme un touriste curieux ! **O.S.**

ÉVÉNEMENT

- ***La nuit européenne des chercheurs***
- Vendredi 30 septembre
- http://nuitdeschercheurs-france.eu



Cet événement nocturne donne l'opportunité aux visiteurs de rencontrer en direct des chercheurs de toutes disciplines, au cœur d'espaces insolites. Le thème cette année ? Les idées ! Comment naît une idée ? Comment est-elle diffusée ? Idée morte, idée reçue, fausse bonne idée, autant de façons d'envisager le lien des chercheurs à ces représentations de l'esprit… Pendant la soirée, il sera possible d'assister ou de participer à des miniconférences et des animations dans 12 villes en France, et plus de 200 partout en Europe. **C.T.**

24 septembre 1846

Johann Gottfried Galle découvre la planète Neptune

A Berlin, ce 23 septembre 1846, le jeune astronome Johann Gottfried Galle décachette la lettre qu'il vient de recevoir de son confrère parisien Urbain Le Verrier. Son visage blêmit: Le Verrier aurait déterminé, par la seule puissance du calcul, l'existence d'une planète inconnue. Mieux, il en donne les coordonnées précises. Galle se précipite chez son supérieur, Johann Encke. Il faudrait, s'enflamme-t-il, pointer dès cette nuit la grande lunette de l'Observatoire pour en avoir le cœur net. Encke est gêné: c'est aujourd'hui son anniversaire, et il avait réservé sa soirée. Le ciel, de toute façon, est trop couvert pour que l'on puisse observer dans de bonnes conditions. Il donne néanmoins carte blanche à son collaborateur. La nuit tombée, assisté de l'étudiant Heinrich d'Arrest, Galle s'abîme donc les yeux à compter les étoiles entre les nuages.

ATTENDRE UNE ÉCLAIRCIE...

Si Le Verrier s'est adressé à l'Observatoire de Berlin, c'est parce qu'on y établit d'excellentes cartes du ciel. Et d'Arrest a vite fait de trouver celle qui correspond à la région indiquée.

Galle profite d'une éclaircie pour comparer cette carte au ciel qui s'offre sporadiquement à lui. Un point lumineux inconnu semble en effet s'en détacher. Hélas, vers minuit, le ciel se couvre pour toute la nuit, empêchant de confirmer la découverte.

Attendre la nuit suivante est une torture. Mais le ciel se dégage enfin. Assez pour que Galle, rejoint cette fois par son directeur Encke, confirme l'existence d'un astre *"de 8e grandeur"*, non répertorié, dont la position s'est légèrement déplacée par rapport à la veille, en accord avec la trajectoire indiquée par Le Verrier. *"Monsieur, la planète dont vous nous avez signalé la position, réellement existe"*, écrit-il fébrilement le lendemain, en français, à son confrère parisien.

L'excitation est immense. La nouvelle était pourtant attendue, car cela faisait des années que l'existence de cette planète était suspectée.

En 1781, les progrès de l'optique avaient en effet permis à l'astronome Herschel de découvrir une nouvelle planète, Uranus, qui était devenue, à l'époque, la planète connue la plus lointaine du Soleil. Son orbite avait été calculée en tenant compte des perturbations gravitationnelles de Jupiter et de Saturne. Car les lois de la mécanique de Newton permettent, connaissant la position des différentes planètes, de calculer l'attraction qu'elles exercent entre elles. Et d'en déduire des trajectoires approchées. Problème: Uranus n'était jamais là où on l'attendait.

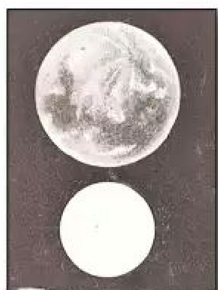
Alexis Bouvard avait ainsi, jusqu'à sa mort en 1843, passé des années à calculer l'orbite théorique d'Uranus. Mais rien n'y faisait. L'écart entre la position attendue et observée dépassait la minute de degré. Etait-il dû à des erreurs d'observation? A une inexactitude des lois de

SCIENCE&VIE en parlait déjà...

PAR FIORENZA GRACCI

1949 UNE SECONDE LUNE POUR NEPTUNE

"Les recherches systématiques conduites par l'astronome américain Kuiper [...] viennent de conduire à une [...] découverte sensationnelle, celle d'un deuxième satellite de la planète Neptune", baptisé par la suite Néréide. Le premier, Triton, avait été décelé 17 jours seulement après Neptune ! Leur éclat dépendant du carré de la distance, *"ces satellites – et ceux qui restent peut-être encore à découvrir sont très difficiles à apercevoir"*. Le 14e date de 2013. ***S&V* n° 387**



UN DEUXIÈME SATELLITE DE LA PLANÈTE NEPTUNE

Des photographies prises à un mois de distance ont révélé, puis confirmé l'existence d'un second satellite de la planète Neptune. Il a disparu, mais on attend avec impatience son retour dans notre champ d'observation pour déterminer le sens de son orbite.

1981 GALILÉE L'AVAIT DEJA VUE !

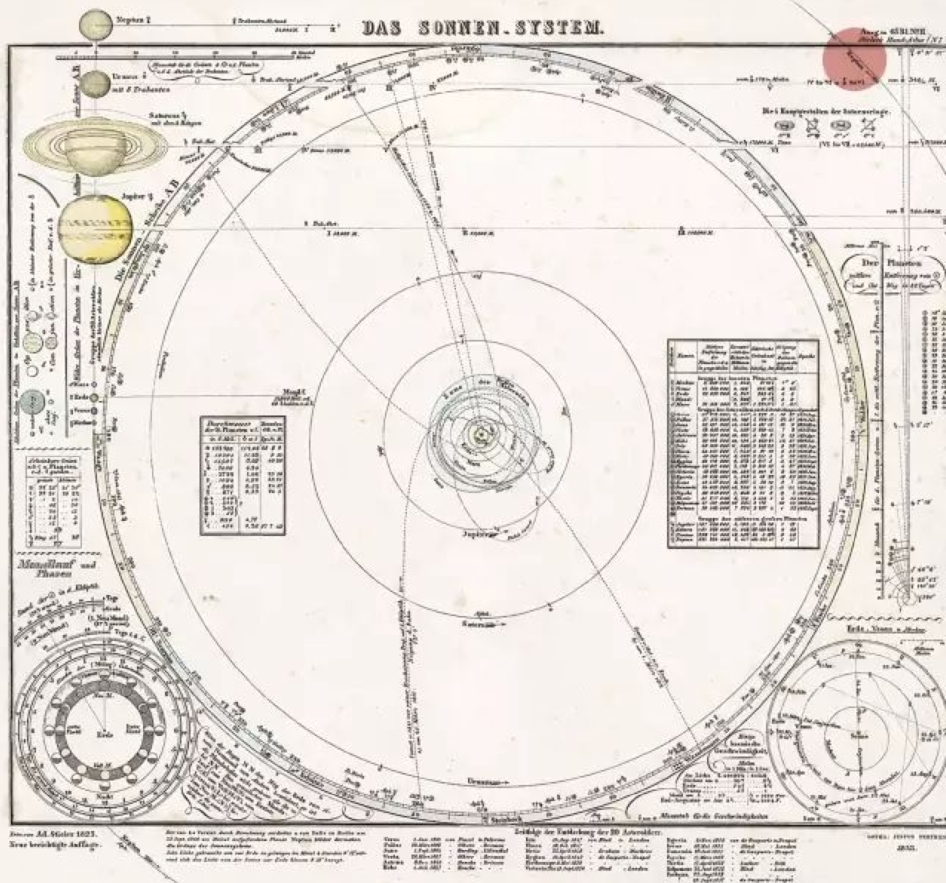
Deux astronomes américains révèlent qu'en 1612, *"l'astronome italien dépista la planète Neptune – alors que l'on ne connaissait même pas Uranus ! –, et qu'à deux reprises, il consigna sa position dans son registre"*. Et ce, *"avec une lunette de seulement 3 centimètres d'ouverture"* ! ***S&V* n° 760**

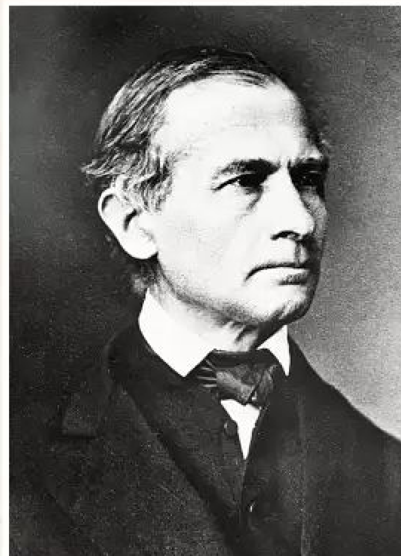
GALILÉE AVAIT DÉCOUVERT NEPTUNE... SANS LE SAVOIR

Ce fait surprenant, dissimulé depuis des siècles entr les feuillets jaunis des registres astronomiques du gran savant italien, vient d'être révélé par deux astronome nord-américains. Le plus curieux est que ces derniers n se livraient pas à des études historiques, mais tentaien de déterminer la masse de Pluton !



SCIENCE PHOTO LIBRARY/AKG - AKG-IMAGES



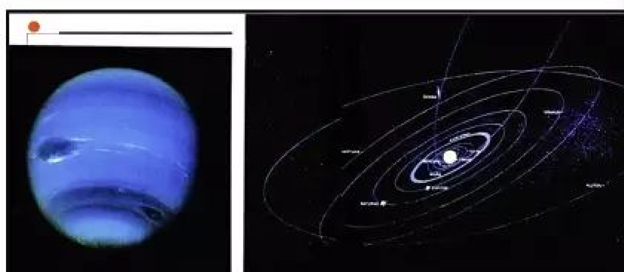


< V L'astronome allemand Johann Gottfried Galle (ci-dessous) est le premier à avoir "vu" la 8e planète du système solaire, dont l'orbite apparaît déjà sur cette carte du ciel de 1853 (cercle rouge en haut à dr.).

Newton ? Ou dépendait-il, comme le suggérait Bouvard, *"de quelque action étrangère ou inaperçue, qui aurait agi sur la planète"* ? Loin de se résorber, cet écart croît au contraire chaque année. L'erreur d'observation est donc exclue. Le neveu d'Alexis Bouvard, qui reprend ses calculs sans plus de succès, en conclut *"qu'il y a beaucoup de vraisemblance dans l'idée émise par* [son] *oncle sur l'existence d'une autre planète troublant Uranus"*.

John Couch Adams, jeune étudiant de Cambridge, en est lui aussi convaincu. Pendant deux ans et demi, il a calculé la masse et l'orbite de la planète qui pourrait rendre compte des excentricités d'Uranus. La tâche est ardue, car les astronomes sont plutôt familiers du problème inverse : calculer la perturbation créée, par une masse connue, sur l'orbite d'une autre. Là, il s'agit d'imaginer la cause susceptible d'avoir produit l'effet…

Le 1er novembre 1845, il communique néanmoins ses résultats à George B. Airy, le directeur de l'Observatoire

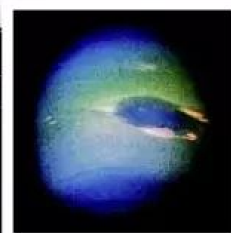


Astronomie

PORTRAIT DU 8e ENFANT DE LA FAMILLE

Nous possédons maintenant des gros plans de 8 planètes sur les 9 qui composent le système solaire. Avec Neptune, le mois dernier, la sonde Voyager 2 en aura, à elle seule, photographié 4 au cours d'un voyage de 12 ans et 7 milliards de km. Seule Pluton manquera à l'album. Mais Voyager fera encore, derrière elle, en s'éloignant vers le Sagittaire où elle sera dans 40 000 ans, une photo de groupe des 9 planètes autour du Soleil.

24





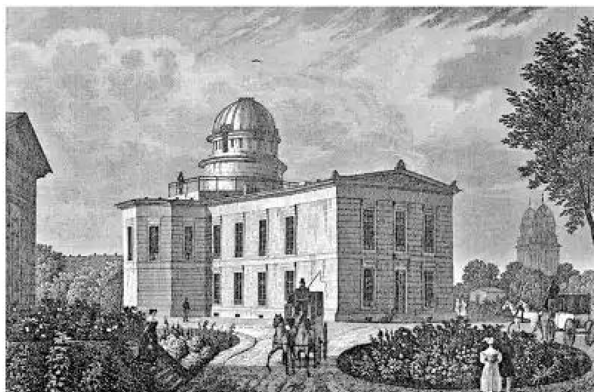
1989 VOILÀ LES PREMIÈRES IMAGES

"La date du 25 août" sera retenue *"comme étant celle de la découverte du visage de la huitième planète du système solaire, Neptune, ses anneaux et ses satellites"*, photographiés au terme d'une *"odyssée spatiale de plus de 7 milliards de kilomètres"* par la sonde *Voyager 2*. Si *"sa couleur bleue nous rappelle la Terre* […], *elle est due à la présence de méthane dans l'atmosphère"*. Taches sombres et nuages blancs tourbillonnant à sa surface témoignent de la présence d'un cœur *"étonnamment actif"*.
***S&V* n° 865**

anglais de Greenwich. Lequel ne prend guère au sérieux ce freluquet de 26 ans. Mal lui en prend. Car en France, le responsable de l'Observatoire de Paris, François Arago, s'intéresse lui aussi au problème. Durant l'été, il s'est tourné vers un jeune répétiteur de Polytechnique, qui a prouvé son talent par quelques travaux sur la stabilité du système solaire: Urbain Le Verrier. Bonne pioche: celui-ci corrige des erreurs commises par Bouvard, simplifie un peu le problème en supposant les orbites dans un même plan, et extrapole une loi empirique, dite de Titius-Bode, pour estimer grossièrement la distance de cette planète par rapport au Soleil.

"VUE AVEC SA PLUME"...

Il livre lui aussi dès novembre des premiers résultats à l'Académie des sciences de Paris. Qu'il complète en juin 1846, indiquant, à 10 degrés près, la position que la planète devrait occuper au 1er janvier 1847. Puis une deuxième fois, en août 1846, en utilisant de nouvelles observations d'Airy.


L'Observatoire de Berlin, où travaillait Johann Gottfried Galle, possédait à cette époque les cartes du ciel les plus précises d'Europe.

Reste à chercher sa trace, là où les calculs le prédisent. Mais l'Observatoire de Paris ne dispose ni d'instrument puissant ni, surtout, de bonnes cartes du ciel qui permettraient, par comparaison, de détecter un nouvel astre n'y figurant pas. Le Verrier rédige donc, le 18 septembre 1846, la lettre qui parviendra à Galle cinq jours plus tard.

La découverte d'une nouvelle planète, là où ses calculs le prédisaient, propulse Le Verrier au panthéon des grands astronomes du siècle. Mais à qui doit en revenir réellement la gloire? A Galle qui l'a effectivement observée? A Adams qui, le premier, en a livré sans convaincre une trajectoire? Arago, dans un élan patriotique, tranche: Le Verrier *"a vu la planète avec sa plume"*. Et ce dernier se verrait bien récompensé en donnant son nom à ce nouvel astre. Il devra ravaler cette ambition. Comme il était évident que cette planète aurait fini, tôt ou tard, par être découverte, la communauté des astronomes décide prudemment de l'appeler Neptune.

Confiant dans sa méthode, Le Verrier cherchera, les décennies suivantes, à l'appliquer à l'orbite de Neptune elle-même, espérant détecter dans ses irrégularités l'influence d'une autre planète, encore plus lointaine. En vain... Idem pour les irrégularités de Mercure, qu'il attribuera en 1859 à une hypothétique planète Vulcain encore plus proche du Soleil... C'est Einstein qui montrera que ces irrégularités étaient dues aux courbures de l'espace-temps.

Neptune, huitième et sans doute dernière planète de notre système (après le déclassement de la "naine" Pluton en 2006), continue de décrire imperturbablement sa lente et lointaine orbite. Après un tour complet autour du Soleil, elle est même revenue, en 2011, à l'endroit exact du ciel où elle avait été identifiée en 1846. **E. Monnier**

AKG-IMAGES

SCIENCE&VIE en parlait encore

2004 NEPTUNE A CHASSÉ PLUTON



De par sa gravité, Neptune a donné forme à la banlieue du système solaire, où orbitent les corps glacés de la ceinture de Kuiper. D'après une reconstruction simulée par l'informatique, *"chaque fois que des corps glacés s'approchaient de Neptune, ils étaient soit tirés vers l'intérieur du système solaire, soit poussés au-delà du bord, soit complètement éjectés au loin. Et ce 'ballet gravitationnel' a entraîné la planète"*, Pluton et les corps glacés dans leurs positions actuelles. ***S&V* n° 1037** @

2016 SA FORMATION ÉLUCIDÉE

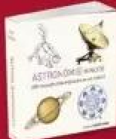


"C'était la dernière grande énigme du système solaire [...]. Comment se fabriquent Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune, ces colosses qui représentent 99 % de la masse des astres orbitant autour du Soleil? Les ingrédients de base sont connus: au départ, il n'y a que de minuscules poussières [...] qui gravitent dans un disque autour de la toute jeune étoile." En 6 millions d'années, ils donnent des embryons planétaires rocheux qui s'enveloppent de gaz sur des centaines de milliers de kilomètres. *"Une géante est née!"* ***S&V* n° 1181** @


à lire en intégralité dans **Les grandes archives** www.science-et-vie.com

Enquête

Vous faites partie de nos lecteurs et nous vous remercions de votre fidélité. Nous travaillons dans un souci permanent d'amélioration de *Science & Vie*. C'est pourquoi nous vous remercions de consacrer quelques minutes, après la lecture de ce numéro, pour remplir le questionnaire ci-dessous. Votre aide nous est précieuse, elle nous permettra de répondre encore mieux à vos attentes.



ou



Pour vous remercier un tirage au sort sera organisé, vous aurez ainsi la possibilité de recevoir :

- **une mappemonde noir / argent** (Petit modèle – diamètre : 14 cm.)
- **ou un exemplaire du livre "Astronomie minute"**

Une fois rempli et complété, ce questionnaire est à nous retourner au plus vite, sans l'affranchir, à l'adresse suivante :
Science & Vie – Marketing – Libre réponse 23016 – 92125 MONTROUGE CEDEX

Q1. Vous lisez Science & Vie…

- > *Tous les mois* 1
- > *De 6 à 10 numéros par an* 2
- > *De 3 à 5 numéros par an* 3
- > *Moins de 3 numéros par an* 4
- > *C'est la première fois* 5

Q2. Comment vous procurez-vous Science & Vie, en général ?

- > *Vous êtes abonné (vous ou une autre personne de votre foyer)* 1
- > *Vous l'achetez chez votre marchand de journaux (vous ou une autre personne de votre foyer)* 2
- > *Autres (on vous le prête, donne…)* 3

Q3. Avez-vous le sentiment, ces derniers mois, de lire Science & Vie, avec

- > *Plus d'intérêt* 1
- > *Moins d'intérêt* 2
- > *Sans changement* 3
- > *C'est la première fois que je le lis* 4

Q4. Notez de 0 à 10 la couverture du numéro de Science & Vie que vous tenez entre vos mains, 10 signifiant que vous l'appréciez beaucoup, 0 signifiant que vous ne l'appréciez pas du tout. Les notes intermédiaires vous permettant de nuancer votre jugement.

|__|__| *sur 10*

Q5. Pour chacun des articles de ce numéro, indiquez dans le tableau ci-dessous :

a- Si vous l'avez lu, en entier, en partie, parcouru sans vraiment le lire ou pas lu du tout.

b- Si vous l'avez au moins parcouru, s'il vous a intéressé, assez, peu ou pas du tout.

	a- Lecture				b- Intérêt			
	En entier	En partie	Parcouru sans vraiment le lire	Pas lu	Beaucoup	Assez	Peu	Pas du tout
> Avant-propos (p. 7)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Sommaire (p. 8 et 9)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Forum (p. 10 à 13)	1	2	3	4	1	2	3	4
Actualités								
> Ensemble de la partie "Actus" (p. 14 à 29)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Actus labos (p. 14 à 19)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Actus environnement (p. 20 à 23)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Actus médecine (p. 24 à 26)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Actus technos (p. 28 et 29)	1	2	3	4	1	2	3	4
Événement								
> Échec scolaire : l'injustice faite aux garçons (p. 32 à 38)	1	2	3	4	1	2	3	4
À la une								
> Objectif : Alpha du Centaure ! (p. 40 à 56)	1	2	3	4	1	2	3	4
Science & Découvertes								
> Ensemble de la partie "Science & Découvertes" (p. 58 à 74)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Évolution – Plumes, poils, écailles : une même origine (p. 58 à 60)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Pollution lumineuse : les lumières de la ville sèment la pagaille chez les arbres (p. 61 à 63)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Géologie – Volcans d'Auvergne : ils sont bien vivants (p. 64 à 67)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Microplastiques : l'invasion (p. 68 à 74)	1	2	3	4	1	2	3	4
Science & Techniques								
> Ensemble de la partie "Science & Techniques" (p. 76 à 93)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Vaccins – Diphtérie, tétanos, polio… : et si on arrêtait de se vacciner (p. 76 à 83)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Attentats – Cerveau traumatisé : un médicament pour aider à oublier (p. 84 à 88)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Effet de serre – Biocarburants : les chiffres qui accablent (p. 90 à 93)	1	2	3	4	1	2	3	4
Science & Futur								
> Ensemble de la partie "Science & Futur" (p. 94 à 100)	1	2	3	4	1	2	3	4
LA SCIENCE & LA VIE								
> Ensemble de la partie "La Science & la vie" (p. 102 à 124)	1	2	3	4	1	2	3	4
Science & Société								
> Nous sommes nés pour courir (p. 102 à 105)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Fin de la dissection à l'école : une confrontation avec le réel irremplaçable (p. 106 et 107)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Plus de 7% des Français sont à plus de 7 minutes d'un médecin (p. 108)	1	2	3	4	1	2	3	4
Science & Pratique								
> Bon à savoir (p. 110 et 111)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Technofolies (p. 112 à 115)	1	2	3	4	1	2	3	4
Science & Culture								
> Questions & Réponses (p. 116 à 119)	1	2	3	4	1	2	3	4
> À voir, à lire (p. 120 et 121)	1	2	3	4	1	2	3	4
> Il y a … 170 ans : la découverture de la planète Neptune (p. 122 à 124)	1	2	3	4	1	2	3	4

Enquête — *Répondez à cette enquête et participez à l'amélioration de Science & Vie !*

Q6. Notez de 0 à 10 ce numéro de Science & Vie que vous tenez entre vos mains, 10 signifiant que vous l'appréciez beaucoup, 0 signifiant que vous ne l'appréciez pas du tout, les notes intermédiaires vous permettant de nuancer votre jugement.

|__|__| *sur 10*

Q7. Pour chacune des phrases ci-dessous que l'on peut entendre à propos de Science & Vie, indiquez si, vous personnellement, vous êtes tout à fait d'accord, plutôt d'accord, plutôt pas d'accord ou pas du tout d'accord :

Les numéros de Science & Vie sont…	Tout à fait d'accord	Plutôt d'accord	Plutôt pas d'accord	Pas du tout d'accord
> Clairs, bien organisés	1	2	3	4
> Agréables à lire	1	2	3	4
> Complets	1	2	3	4
> Distrayants	1	2	3	4
> Faciles à comprendre	1	2	3	4
> Riches en informations que vous ne trouvez pas ailleurs	1	2	3	4
> Très intéressants	1	2	3	4

Q8. Vous est-il déjà arrivé de recommander à quelqu'un…	Oui souvent	Oui rarement	Non jamais
> La lecture de numéros de Science & Vie	1	2	3
> Un article précis paru dans Science & Vie	1	2	3

Q9. Si Science & Vie disparaissait, diriez-vous qu'il vous manquerait beaucoup, assez, peu ou pas du tout ?

- > Manquerait beaucoup 1
- > Manquerait assez 2
- > Manquerait peu 3
- > Ne manquerait pas du tout 4

Q10. Vous-même, depuis combien de temps lisez-vous le magazine Science & Vie ?

- > Moins d'un an 1
- > 1 à 2 ans 2
- > 3 à 5 ans 3
- > 6 à 10 ans 4
- > 11 ans et plus 5

Q11. Quels magazines achetez-vous / lisez-vous régulièrement ?

....

Q12. Consultez-vous les sites Internet suivants ?	2 à 3 fois par mois ou plus	1 fois par mois	1 fois tous les 2 ou 3 mois	Visité 1 seule fois	Jamais
> science-et-vie.com	1	2	3	4	5
> archives.science-et-vie.com	1	2	3	4	5
> sciencesetavenir.fr	1	2	3	4	5
> futura-sciences.com	1	2	3	4	5
> lemonde.fr/sciences	1	2	3	4	5
> pourlascience.fr	1	2	3	4	5
> science.gouv.fr	1	2	3	4	5
> franceculture.fr/rubrique/sciences	1	2	3	4	5
> cnrs.fr	1	2	3	4	5
> universcience.fr	1	2	3	4	5

Q13. Quels sites internet consultez-vous pour trouver des informations scientifiques ?

....

Pour finir, voici quelques dernières questions destinées à mieux vous connaître.

RS1. Vous êtes…

- > Un homme 1
- > Une femme 2

RS2. Votre âge…

- > moins de 18 ans 1
- > de 18 à 24 ans 2
- > de 25 à 34 ans 3
- > de 35 à 49 ans 4
- > de 50 à 64 ans 5
- > 65 ans et plus 6

RS3. Dans quelle catégorie, parmi les suivantes, pouvez-vous vous ranger personnellement et/ou le chef de famille ?

	Vous-même	Le chef de famille
> Agriculteur	1	1
> Profession libérale	2	2
> Artisan, petit commerçant	3	3
> Chef d'une entreprise de plus de 10 salariés	4	4
> Cadre supérieur	5	5
> Cadre moyen	6	6
> Employé	7	7
> Ouvrier	8	8
> Élève, étudiant	9	9
> Retraité	10	10
> Autre inactif	11	11
> Chômeur	12	12

RS4. Quel est votre département de résidence ? |__|__|

Vos coordonnées

Nom : ....

Prénom : ....

Adresse : ....

....

....

....

CP : ....

Ville : ....

E-mail : ....

....

Vous êtes susceptible de recevoir des informations commerciales sur nos produits par voie postale et voie électronique, veuillez cocher l'une des cases suivantes :

☐ *Non, je ne le souhaite pas* ☐ *Oui, je le souhaite*


ANNO
1074
10 74
Affligem®
CUVÉE CARMIN
BIÈRE D'INITIÉS DEPUIS 1074*
*Depuis près de 1000 ans, la recette de la bière Affligem est transmise par les moines de l'abbaye qui encore aujourd'hui initient nos maîtres brasseurs pour garantir une bière de haute qualité.
L' ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ. À CONSOMMER AVEC MODÉRATION.